

SÉRIE A, N° 1836

N° D'ORDRE :

2702

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

J.-A. REBOUL

Ancien préparateur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

Docteur en Médecine. M. A. (Harvard University U. S. A.).

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE D'UN RAYONNEMENT IONISANT ÉMIS PAR LES MÉTAUX ORDINAIRES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **Octobre 1938** devant la Commission d'examen.

28 OCT. 1938
MM. A. COTTON..... *Président.*
CABANNES..... } *Examineurs.*
MONNIER..... }

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1938

SÉRIE A, N° 1836

N° D'ORDRE :

2702

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES PHYSIQUES

PAR

J.-A. REBOUL

Ancien préparateur à la Faculté des Sciences de Montpellier.
Docteur en Médecine. M. A. (Harvard University U. S. A.).

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE D'UN RAYONNEMENT IONISANT ÉMIS PAR LES MÉTAUX ORDINAIRES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **Octobre 1938** devant la Commission d'examen.

MM. A. COTTON..... *Président.*

CABANNES..... } *Examineurs.*
MONNIER..... }

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1938

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen honoraire..... M. MOLLIARD.
Doyen..... C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du Globe.

Professeurs honoraires.



H. LEBESGUE.	BLAISE.	G. BERTRAND.
A. FERNBACH.	DANGEARD.	ABRAHAM.
Émile PICARD.	LESPIEAU.	Ch. FABRY.
Léon BRILLOUIN.	MARCHIS.	LÉON BERTRAND.
GUILLET.	VESSIoT.	WINTREBERT.
PÉCHARD.	PORTIER.	DUBOSQ.
FREUNDLER.	MOLLIARD.	BOHN.
AUGER.	LAPICQUE.	

PROFESSEURS

M. CAULLERY.....	† Zoologie (Évolution des êtres organisés).	H. BÉGHIN.....	† Mécanique physique et expérimentale.
G. URBAIN.....	† Chimie générale.	FOCH.....	† Mécanique expérimentale des fluides.
Émile BOREL.....	† Calcul des probabilités et Physique mathématique.	PAUTHENIER.....	† Physique (P. C. B.).
Jean PERRIN.....	† Chimie physique.	De BROGLIE.....	† Théories physiques.
E. CARTAN.....	† Géométrie supérieure.	CHRÉTIEN.....	† Optique appliquée.
A. COTTON.....	† Recherches physiques.	P. JOB.....	† Chimie générale.
J. DRACH.....	† Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	LABROUSTE.....	† Physique du Globe.
Charles PÉREZ.....	† Zoologie.	PRENANT.....	† Anatomie et Histologie comparées.
M. GUICHARD.....	† Chimie minérale.	VILLEY.....	† Mécanique physique et expérimentale.
Paul MONTEL.....	† Théorie des fonctions et Théorie des transformations.	COMBES.....	† Physiologie végétale.
L. BLARINGHEM.....	† Botanique.	GARNIER.....	† Mathématiques générales.
G. JULIA.....	† Mécanique analytique et Mécanique céleste.	PÉRÈS.....	† Mécan. théor. des fluides
C. MAUGUIN.....	† Minéralogie.	HACKSPILL.....	† Chimie (P. C. B.).
A. MICHEL-LÉVY.....	† Pétrographie.	LAUGIER.....	† Physiologie générale.
H. BÉNARD.....	† Mécanique expérimentale des fluides.	TOUSSAINT.....	† Technique Aéronautique.
A. DENJOY.....	† Application de l'analyse à la Géométrie.	M. CURIE.....	† Physique (P. C. B.).
L. LUTAUD.....	† Géographie physique et géologie dynamique.	G. RIBAUD.....	† Hautes températures.
Eugène BLOCH.....	† Physique.	CHAZY.....	† Mécanique rationnelle.
G. BRUHAT.....	† Physique théorique et physique céleste.	GAULT.....	† Chimie (P. C. B.).
E. DARMOIS.....	† Enseignement de Physique.	CROZE.....	† Recherches physiques.
A. DEBIERNE.....	† Physique Générale et Radioactivité.	DUPONT.....	† Théories chimiques.
A. DUFOUR.....	† Physique. (P. C. B.).	LANQUINE.....	† Géologie structurale et géologie appliquée.
L. DUNOYER.....	† Optique appliquée.	VALIRON.....	† Mathématiques générales.
A. GUILLIERMOND.....	† Botanique.	BARRABÉ.....	† Géologie structurale et géologie appliquée.
M. JAVILLIER.....	† Chimie biologique.	MILLOT.....	† Biologie animale (P. C. B.).
ROBERT-LÉVY.....	† Physiologie comparée.	F. PERRIN.....	† Théories physiques.
F. PICARD.....	† Zoologie (Évolution des êtres organisés).	VAVON.....	† Chimie organique.
Henri VILLAT.....	† Mécanique des fluides et applications.	G. DARMOIS.....	† Calcul des Probabilités et Physique-Mathématique
Ch. JACOB.....	† Géologie.	CHATTON.....	† Biologie maritime.
P. PASCAL.....	† Chimie minérale.	AUBEL.....	† Chimie biologique.
M. FRÉCHET.....	† Calcul différentiel et Calcul intégral.	Jacques BOURCART.....	† Géographie physique et géologie dynamique.
E. ESCLANGON.....	† Astronomie.	M ^{me} JOLIOT-CURIE.....	† Physique générale et Radioactivité.
M ^{me} RAMART-LUCAS.....	† Chimie organique.	PLANTEFOL.....	† Biologie végétale (P. C. B.).
		GABANNES.....	† Enseignement de Physique.
		GRASSÉ.....	† Biologie animale (P. C. B.).
		PRÉVOST.....	† Chimie (P. C. B.).
		BOULIGAND.....	† Mathématiques.

Secrétaire..... A. PACAUD.
Secrétaire honoraire..... D. TOMBECK.

A MONSIEUR G. REBOUL
Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

*En témoignage
de ma plus tendre affection.*

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE D'UN RAYONNEMENT IONISANT ÉMIS PAR LES MÉTAUX ORDINAIRES

Par M. J. A. REBOUL

Ancien préparateur à la Faculté des Sciences de Montpellier,
M. A. (Harvard University, U. S. A.),
Docteur en Médecine.

INTRODUCTION

Les métaux ordinaires possèdent la propriété d'ioniser les gaz placés dans leur voisinage, d'impressionner à distance la plaque photographique et de produire, dans l'atmosphère qui les environne, des centres de condensation pour la vapeur d'eau faciles à mettre en évidence avec l'appareil de Wilson.

Il nous a paru intéressant de rechercher si les actions de ces métaux sur l'électromètre et sur la plaque sensible, sont indépendantes l'une de l'autre ou ne sont que des manifestations d'une même propriété dont l'origine peut être discutée, mais dont l'existence paraît incontestable, savoir : l'émission d'un rayonnement peu pénétrant par tous les métaux. Et cette recherche nous a paru d'autant plus désirable que nous avons à notre disposition, tant au point de vue pratique qu'au point de vue théorique, des moyens qui manquaient à nos prédécesseurs. Les renseignements que nous possédons sur le rayonnement ultrapénétrant cosmique permettent de comprendre l'émission d'un rayonnement par les métaux

ordinaires et d'en expliquer les particularités ; d'autre part, dans l'étude des actions sur la plaque, on peut, grâce à la photométrie photographique, effectuer des mesures là où on ne pouvait guère autrefois que donner des résultats qualitatifs.

En somme, nous nous proposons d'étudier successivement l'action ionisante des métaux ordinaires et l'impression qu'ils produisent sur la plaque sensible, nous discuterons l'origine ou le mécanisme de ces actions, nous en déduirons les renseignements quantitatifs que l'on peut en tirer et enfin nous essaierons de voir, en rapprochant les résultats obtenus si ces deux actions présentent ou non quelque corrélation.

Ce travail a été effectué de 1932 à 1937 au Laboratoire de Physique de la Faculté des Sciences de Montpellier, sous la direction de M. G. Reboul, mon père, qui en a suivi l'exécution avec une attention toute particulière. Je dois aussi de bien sincères remerciements à M. le professeur J. Cabannes, qui ne m'a pas ménagé ses conseils pour la partie optique et a mis à ma disposition les ressources de son laboratoire.

PREMIÈRE PARTIE

ACTION IONISANTE DES MÉTAUX ORDINAIRES

I. — Historique critique (1)

1. Conductibilité de l'air, ionisation spontanée. — L'air a été pendant longtemps considéré comme un isolant parfait ; il est actuellement incontestablement établi qu'il possède une certaine conductibilité même en l'absence, dans son voisinage, de tout corps radioactif proprement dit ; cette conductibilité est due à une ionisation. Geitel (1) et Wilson (2) ont montré que cette ionisation dépend du métal formant les parois du récipient contenant le gaz. En somme à l'intérieur d'un récipient métallique se produit, sans cause apparente, une conductibilité notable du gaz enfermé (ionisation spontanée).

2. L'ionisation spontanée est due en partie à une cause extérieure au récipient. — Cooke (3) a montré que l'ionisation est diminuée quand on enveloppe le récipient métallique d'un écran de plomb épais ; il trouvait cependant que 30 o/o de l'ionisation persiste quelque soit l'épaisseur de l'écran protecteur utilisé.

La cause ionisante ne peut donc être localisée uniquement

(1) Voir l'article de Normann P. CAMPBELL. La radioactivité, propriété générale des éléments chimiques. *Jahrbuch der Radioaktivität*, 2 (1906), 434.

à l'intérieur du récipient, elle provient en partie de l'extérieur. Quant au résidu de 30 o/o, Cooke l'attribuait soit à l'air qui se trouve dans le récipient, soit encore au rayonnement propre du plomb formant l'écran protecteur.

3. L'ionisation spontanée dépend de la nature des parois. — Strutt (4), Mc. Lennan et Burton (5), Cooke (6), Righi (7) montrèrent à peu près en même temps que l'ionisation spontanée dans un récipient clos dépend de la matière dont les parois sont faites.

Il apparaît donc que l'ionisation dans le voisinage d'un métal est due, en même temps qu'à une cause extérieure, à un rayonnement émis par les parois [Wood (13)].

4. — L'étude expérimentale de la question a également montré que l'ionisation spontanée ne pouvait être due ni à des poussières radioactives en suspension dans les gaz, portées par les parois ou incluses dans les métaux qui les forment [Righi (7), Wood et Campbell (8)], ni à des actions chimiques [Armstrong (9), Wilson (10)] ni enfin à un effet thermoionique [Mc. Lennan et Burton (11)].

5. Une radioactivité spécifique de la matière formant les parois intervient-elle dans l'ionisation spontanée ? — C'est la thèse soutenue par Campbell dans l'article cité plus haut. « Si les éléments ordinaires, dit-il, sont radioactifs, il faut s'attendre, par analogie avec ce qui se passe pour le radium, à ce qu'ils émettent des rayons α , β et γ . Le pouvoir pénétrant de ces rayons devrait être constant pour chaque élément, mais varier d'un élément à l'autre ; il devrait être vraisemblablement comparable au pouvoir pénétrant des rayons correspondants du radium. Il est aussi probable que quelques-uns d'entre eux donnent une émanation. Par suite on peut espérer éclaircir la question en recherchant la nature

des rayons émis et en établissant l'existence d'une émanation ».

Toutes les substances radioactives ne donnent pas naissance à une émanation ou n'émettent pas de rayons α ou β , les conclusions de Campbell risquent donc d'être complètement inexactes ; toutefois comme la théorie que nous présentons plus loin a son origine dans la discussion des travaux de Campbell, nous pensons utile de reproduire cette discussion.

a) Les expériences les plus soignées ne permettent pas de montrer directement l'existence d'une émanation.

Des observations faites par Mc. Lennan et Burton sur les changements présentés par l'ionisation en vase clos après qu'un courant d'air a traversé le récipient, ont amené ces physiciens à soutenir qu'il y avait production d'émanation ; d'après eux il y avait au début une diminution de l'ionisation suivie d'une augmentation, ils attribuaient la diminution initiale à du radium A précipité sur la surface des parois, quant à l'augmentation qui la suit et dont la valeur était différente pour les divers métaux, elle était due, d'après eux, à une production d'émanation. Righi, Campbell, Wood n'ont pas trouvé de pareilles variations dans l'ionisation, il est donc difficile d'établir sur des preuves aussi fragiles l'existence d'une émanation. Ajoutons que des expériences directes de dissolution des métaux par des acides n'ont pas non plus permis de déceler les moindres traces d'émanation.

b) Pour établir qu'il y a émission de rayons α et β par les surfaces métalliques formant les parois des récipients, Campbell admet l'existence de cette émission et suppose que ses caractères sont voisins de ceux qu'ont les rayons du radium : les rayons α très absorbables seront complètement arrêtés par quelques centimètres d'air et joueront le rôle principal dans l'ionisation du gaz, tandis que les rayons β traverseront sans absorption notable le gaz contenu dans le récipient en l'ionisant faiblement.

Dans un récipient de forme parallélipédique, dont on peut faire varier la longueur x de l'un des côtés sans toucher aux deux autres, Campbell détermine les variations de l'ionisation quand on change les valeurs de x . D'après lui les rayons α donnent des valeurs de l'ionisation croissant avec x suivant une exponentielle complexe, tandis que les rayons β produisent une ionisation proportionnelle au volume par conséquent à x . Il s'ensuit que la courbe représentative des

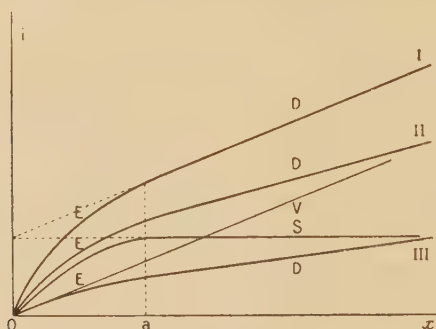


Fig. 1. — D'après Campbell.

Courbe I. — Obtenue sans écran, due à rayonnement total.

Courbe II. — Obtenue avec écran, due à rayonnement d'origine intérieure.

Courbe III. — Différence de I et II, due à rayonnement d'origine extérieure.

variations comprendra, au début, une portion d'exponentielle E (due principalement à l'action des rayons α) puis une droite D quand il ne reste plus que l'action des rayons β . On peut donc d'après Campbell, différencier facilement ce qui est dû aux rayons α absorbables (courbe S) et ce qui est produit par les rayons β pénétrants (droite V), la courbe ED donnée par l'expérience résultant de la superposition de S et de V (fig. 1). Quant à la valeur a de l'abscisse pour laquelle commence la droite D, elle représente l'épaisseur d'air qui absorbe totalement la partie molle du rayonnement.

En répétant les mesures après avoir enveloppé le récipient d'un écran de plomb de quelques centimètres d'épaisseur, on obtenait une nouvelle courbe représentative II se plaçant toute entière au-dessous de la première I (fig. 1). D'après les idées de Campbell l'écran de plomb suffisait pour arrêter toute l'action du rayonnement extérieur et la différence entre les ordonnées des courbes I et II donnait les valeurs de l'ionisation produite par le rayonnement venant de l'extérieur (courbe III).

En somme l'ionisation spontanée à l'intérieur d'un récipient métallique (courbe I) proviendrait de l'action d'un rayonnement extérieur (courbe III) et d'une action localisée à l'intérieur dont l'origine, d'après Campbell, devait être rattachée à une radio-activité spécifique du métal formant les parois (courbe II). Le tracé des courbes permettait une détermination facile des parties absorbables s et des parties pénétrantes v du rayonnement spécifique du métal (courbe II) et de celui venant de l'extérieur (courbe III).

C'est ainsi que Campbell pensait pouvoir analyser le rayonnement complexe qui produit l'ionisation spontanée. Alors que le radium émet des rayons α dont la longueur de parcours dans l'air à la pression ordinaire n'est guère que 6 à 7 cm., il trouvait que le parcours des rayons α émis par les métaux ordinaires ne serait pas inférieur à 8 cm. et atteindrait même 12 à 13 cm. pour le plomb, le platine ou le fer; il s'ensuit que l'étude à la chambre de Wilson devrait permettre de déceler ces rayons avec les métaux ordinaires continuellement et sans précautions particulières, comme elle le permet avec le radium; or, l'expérience ne confirme pas.

Il est cependant juste de signaler, ainsi que nous le dirons plus loin, que l'étude du rayonnement cosmique et de ses effets a permis de mettre en évidence, avec quelques métaux, une émission de véritables gerbes de rayons, renfermant des électrons négatifs, des électrons positifs et des noyaux ato-

miques et pouvant justifier en partie l'hypothèse de Campbell d'une émission de rayons analogues aux rayons α ; mais la production de ces gerbes est assez rare et discontinue, il ne semble pas que leur existence puisse permettre d'expliquer les résultats de mesures durant quelques minutes et correspondant à des courants d'ionisation d'allure plutôt continue.

Enfin soulignons l'insuffisance du raisonnement de Campbell qui croyait pouvoir arrêter complètement le rayonnement extérieur avec des écrans, les quelques centimètres de plomb qu'il interposait étaient tout à fait insuffisants ; on sait actuellement qu'il faut des épaisseurs de plomb de plusieurs mètres pour diminuer de moitié l'action du rayonnement ultrapénétrant cosmique qui constitue une partie, sinon la totalité, du rayonnement extérieur que Campbell fait intervenir dans son analyse. L'impossibilité où l'on se trouve d'arrêter complètement le rayonnement venant de l'extérieur ne permet pas d'admettre, pas plus au point de vue qualitatif que quantitatif, les conclusions de Campbell sur la radioactivité spécifique des métaux ordinaires ; nous verrons d'ailleurs que les résultats de ses expériences peuvent s'expliquer facilement en faisant seulement intervenir le rayonnement cosmique et en utilisant ce que nous savons à son sujet.

6. Le rayonnement ultrapénétrant cosmique et ses caractères principaux. — L'étude de l'ionisation spontanée à l'intérieur de vases clos amène, comme nous venons de le voir, à supposer l'existence d'un rayonnement pénétrant venant de l'extérieur dont la source peut se trouver soit dans le sol ou les matériaux environnant les appareils, soit dans l'air et l'atmosphère environnante.

Les expériences de Gockel (1909) et de Regener (1913) ayant montré que l'« ionisation spontanée » augmente quand on s'élève dans l'atmosphère, le rayonnement qui la produit

ne peut provenir que de la partie supérieure de l'atmosphère ou d'une source extra-terrestre ; d'où l'hypothèse du rayonnement cosmique dont la provenance et la composition peuvent être discutées mais dont l'existence paraît certaine.

Les études faites soit par la méthode de la chambre d'ionisation, soit au moyen de la chambre à condensation et de compteurs de Geiger ont montré la complexité de cette radiation ultrapénétrante qui paraît consister en un mélange de rayons dont le pouvoir pénétrant varie dans une très large mesure de 1 à 160.

Il ne s'agit point ici de discuter les expériences nombreuses et variées qui ont été faites pour voir si le rayonnement cosmique comprend des photons, des négatrons ou des positrons. Qu'il nous suffise pour le moment d'en souligner le très grand pouvoir de pénétration : la partie la plus dure correspond à un coefficient d'absorption massique de 10^{-3} cm²/g. ⁻¹ et à une énergie supérieure à 10^{11} é.-v. Nous indiquerons au fur et à mesure que nous aurons à les utiliser pour l'exposé de notre thèse les propriétés principales de ce rayonnement cosmique, nous nous contenterons de remarquer avec P. Auger (12) qu'on peut le considérer comme formé d'une partie molle M que peuvent arrêter 8 cm. de plomb et d'une partie dure D qui peut traverser plusieurs mètres de ce métal ⁽¹⁾, l'une et l'autre de ces composantes agiront sur les gaz enfermés dans des récipients métalliques soit en les ionisant directement soit en provoquant l'émission directe ou non de rayons secondaires par les métaux qui forment les parois, l'ensemble de ces effets constituant ce qu'on appelle « l'ionisation spontanée ».

7. Les particularités de l'ionisation en vase clos s'expliquent par l'action du rayonnement cosmique. — Les résultats

⁽¹⁾ La partie molle correspondrait à un coefficient de $5,8 \cdot 10^{-3}$ et la partie dure à $0,7 \cdot 10^{-3}$ en moyenne.

des expériences de Campbell peuvent s'expliquer de la manière suivante : quand on place le récipient dans un écran de plomb d'épaisseur suffisante (8 cm.) on supprime l'action de la partie molle M du rayonnement, mais celle de la partie D persiste à peu près intégralement ; les résultats que Campbell attribuait à une radioactivité spécifique du métal sont certainement dus, en partie sinon en totalité, à l'action de D. Si, au contraire, il n'y a pas d'écran protecteur les résultats obtenus correspondent aux actions de D et de M (et aussi à celle des substances radioactives qui sont dans le voisinage) ; en faisant la différence des valeurs obtenues avec ou sans écran protecteur, on a donc l'ionisation produite par les corps radioactifs environnants ou par la partie M du rayonnement cosmique que le plomb avait arrêtée. Bien entendu ceci suppose qu'en plus de l'ionisation directe que les composantes M et D produisent dans le gaz contenu dans le récipient, elles provoquent, l'une et l'autre, l'émission par les parois de rayonnements dont une partie est facilement absorbable.

Quelle que soit l'interprétation que l'on donne, les résultats trouvés sont dûs à la superposition d'un effet de *volume* et d'un effet de *surface*, dont les valeurs changent avec la forme et les dimensions du récipient, aussi quoique le R. C. présente la même intensité aux divers points du globe, les valeurs de l'ionisation ne seront comparables pour un même métal que si les récipients utilisés sont de même forme et de dimensions identiques. En outre ces valeurs dépendront aussi des objets environnant les appareils, par suite de la situation du laboratoire et de sa disposition.

8. Conclusions. — Ce qui précède indique, pensons-nous, de manière suffisante l'esprit et le but de ce travail.

Il ne s'agit pas de faire une étude du rayonnement cosmique, ni d'étudier après tant d'autres l'ionisation en vase clos ; nous voulons montrer que sous l'action de ce rayonne-

ment ultra-pénétrant les métaux ordinaires émettent des radiations du domaine intermédiaire.

Pour cela nous avons fait deux séries d'expériences. Dans la première nous montrerons que les métaux émettent des radiations ionisantes absorbables et que les particularités présentées par cette émission s'expliquent par celles que présentent les rayons cosmiques ; nous y ferons aussi voir que les valeurs de l'ionisation spontanée sont directement liées à l'intensité du rayonnement cosmique, ce qui ne laissera aucun doute sur l'origine des radiations émises par les métaux ordinaires. Dans la deuxième série nous déterminons la région du domaine intermédiaire à laquelle appartiennent ces radiations ; pour cela nous en mesurerons les coefficients d'absorption et de leur valeur nous déduirons celle de leur longueur d'onde.

II. — Première série d'expériences.

1. Considérations générales. — Le laboratoire dans lequel ont été effectuées toutes les expériences, se trouve au rez-de-chaussée d'un bâtiment de trois étages à mur très épais ; par suite de l'exiguité du local où se trouvaient les appareils, on peut pratiquement admettre que seule intervient la partie dure D du rayonnement cosmique tombant sur les appareils suivant la verticale, quant à la partie molle M elle est complètement absorbée par les matériaux formant les murs ou les plafonds du bâtiment.

Les appareils employés dans cette première série d'expériences étaient relativement peu volumineux, de sorte qu'il était possible de les envelopper d'écrans de plomb épais sans manipuler des masses considérables de ce métal. Normalement l'épaisseur de l'enveloppe protectrice de plomb était de 9 mm., elle était portée à 5 cm. quand on voulait arrêter, comme dans le cas des expériences de Campbell, la partie la

plus molle du rayonnement extérieur. Enfin cette protection était portée à 30 cm. quand on voulait caractériser par son coefficient d'absorption à travers le plomb la partie de ce rayonnement intervenant dans le phénomène.

2. Réalisation des expériences. — L'appareil (fig. 2) est constitué par un condensateur cylindrique : l'une des armatures est formée par un cylindre C du métal étudié, l'autre

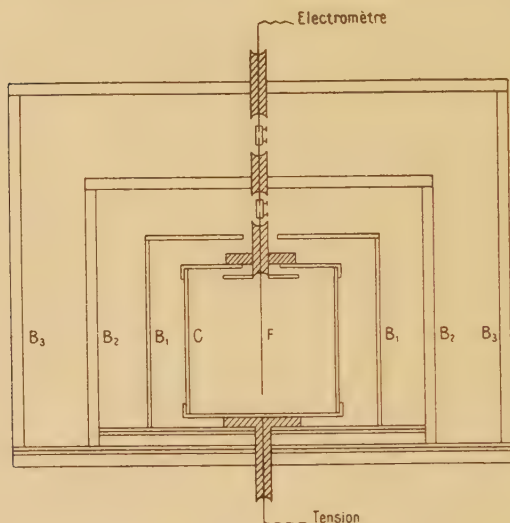


Fig. 2.

par un simple fil F du même métal. Les expériences de Campbell ayant montré que la partie molle du rayonnement émis par le métal est complètement absorbée par des épaisseurs d'air de 8 à 10 cm, on a pris pour le cylindre C un diamètre et une hauteur de 18 cm. afin que l'absorption de cette dernière partie fut complète.

Le cylindre C, qui est soit relié au sol, soit porté à un potentiel déterminé au moyen d'une batterie de petits accu-

mulateurs, est placé à l'intérieur d'un ensemble de trois caisses de bois $B_1B_2B_3$ doublées d'une feuille de plomb de 3 mm. d'épaisseur, de sorte que dans les conditions ordinaires le rayonnement extérieur est filtré par une épaisseur de 9 mm. de plomb. Quand on désire augmenter cette épaisseur on remplit au moyen de briquettes de plomb de forme parallélipédiques les intervalles existant entre B_1B_2 et B_2B_3 et l'on bâtit autour de B_3 une carapace jusqu'à ce que l'on ait atteint l'épaisseur désirée.

L'électrode filiforme F est reliée à l'électromètre, elle est protégée électrostatiquement de manière parfaite par des enveloppes métalliques au sol et au point de vue isolement par un anneau de garde, de sorte que les charges qu'elle recueille et qu'accuse l'électromètre ne peuvent provenir que du gaz qui est à l'intérieur de C ou de la surface intérieure de ce dernier.

3. Hypothèses fondamentales. -- Nous admettons, contrairement à ce que suppose Campbell, que les métaux ordinaires ne sont pas radioactifs au sens ordinaire du mot c'est-à-dire qu'ils n'émettent pas, du moins de manière normale et continue, des rayons α , β ou γ d'énergie comparable à celle des rayons du radium par exemple; nous nous appuierons pour justifier cette hypothèse sur le fait que l'examen de ces métaux à la chambre de Wilson ne donne pas dans les conditions ordinaires de trajectoire α ou β , mais seulement un nuage diffus dans le voisinage de la surface métallique. Nous admettons cependant qu'il peut y avoir en même temps qu'émission de radiations ionisantes absorbables une projection de corpuscules + et - de faible parcours moyen et d'énergie insuffisante pour provoquer une ionisation des gaz qu'ils traversent. Les mesures, assez rares d'ailleurs, qui donnent des courants anormalement élevés correspondant à des *sauts* dans les valeurs de l'ionisation, sont probablement liées à des projections de *gerbes* de

rayons, formées sans doute de centres d'énergie beaucoup plus grande, nous en avons systématiquement écarté les résultats.

Dans ces conditions l'ionisation en vase clos peut être considérée comme produite par :

1° Un rayonnement primaire R_0 venant de l'extérieur du récipient et qui est dû soit au rayonnement cosmique, soit aux substances radioactives environnantes, soit enfin aux rayons secondaires que la R. C. excite dans les matériaux qui se trouvent dans le voisinage des appareils ;

2° Un rayonnement secondaire émis par les parois métalliques sous l'action du rayonnement R_0 . Ce rayonnement secondaire comprendrait des radiations ionisantes R_1 et peut être des charges $+$ et $-$; le quantum d'énergie de ces dernières étant assez faible pour que l'ionisation qu'elles produisent soit négligeable à côté de celle qui est due à R_0 et surtout à R_1 .

4. Discussion des expériences. — L'armature filiforme reliée à l'électromètre ayant une surface négligeable par rapport à celle du cylindre C, cette dernière interviendra seule dans le phénomène, soit S sa valeur.

Désignons par R_0 le nombre d'ions produits par centimètre cube et par seconde par le rayonnement extérieur, par R_1 celui qui est dû aux radiations secondaires molles émises par centimètre carré de surface métallique après qu'elles ont été totalement absorbées par le gaz, R_1' le nombre d'ions produit par centimètre cube et par seconde par la partie pénétrante des radiations secondaires émises par centimètre carré de paroi, (α) et (β) les charges positives et négatives projetées par unité de surface métallique.

Quand le champ extracteur est nul, puisque les deux armatures C et F sont formées de métaux identiques (ne présentant par conséquent pas de différence de potentiel au contact) le courant accusé à l'électromètre sera dû aux

charges projetées par la surface intérieure du cylindre C qui jouera le rôle de cylindre de Faraday, on aura donc :

$$i_0 = S[(\alpha) - (\beta)].$$

Cette première série de mesures permettra donc de voir s'il y a une émission corpusculaire par les surfaces métalliques, d'indiquer le signe des corpuscules en excès et de se rendre compte, par la détermination des champs antagonistes suffisants pour arrêter l'émission, combien faible est l'énergie cinétique de ces corpuscules.

Avec un champ extracteur positif suffisant pour que la saturation soit atteinte, on aura un courant :

$$i_1 = R_0V + R_1S + R_1'SV + S(\alpha).$$

Et si ce champ est négatif :

$$i_2 = R_0V + R_1S + R_1'SV + S(\beta).$$

Les diverses constantes R_1 , $R_1'(\alpha)$ et (β) qui interviennent dans ces équations dépendent des valeurs de R_0 qui caractérisent le rayonnement primaire ; si nous admettons qu'elles lui sont proportionnelles les mesures des intensités i_0 , i_1 et i_2 faites quand l'appareil est ou non enveloppé d'un écran de plomb nous permettront de déterminer le coefficient d'absorption par le plomb du rayonnement primaire et par suite de l'identifier. Ces mêmes intensités présenteront aussi des particularités qui devront être celles de R_0 et en faciliteront l'identification. Enfin les variations de ces intensités quand on changera la nature des métaux permettraient de voir la part qui revient à chacun d'eux dans l'émission des rayonnements secondaires R_1 , $R_1'(\alpha)$ ou (β) .

La détermination numérique des diverses constantes $R_0R_1R_1'(\alpha)$ et (β) pourrait se faire en répétant l'expérience avec des récipients de même métal mais de surface S' et de volume V' différents, ce qui donnerait trois nouvelles équations entre ces coefficients. La deuxième série d'expériences

que nous verrons plus loin donnerait une méthode de détermination plus simple de ces valeurs.

5. Sensibilité des appareils et précautions indispensables.

La nécessité d'employer des récipients de grande surface et des tubes de connection assez longs pour que l'on puisse envelopper ces récipients d'écrans de plomb suffisamment épais, fait que la capacité de l'ensemble est assez grande et qu'elle n'est pas due pour la plus grosse part à l'appareil de mesure proprement dit; c'est la raison pour laquelle nous avons choisi pour ce dernier un appareil particulièrement sensible au volt : nous avons utilisé un électromètre à quadrants (modèle Debierne) donnant pour 1 volt une déviation de 5 000 divisions sur une échelle placée à 1 m. 50 ; l'isolement du quadrant était commandé électriquement à distance et la stabilité du zéro quasiparfaite.

La capacité de l'ensemble était en moyenne d'une centaine de centimètres dans les conditions où l'on a opéré, dans les résultats qui suivent une unité correspond à $2 \cdot 10^{-14}$ coulombs ou à $1,3 \cdot 10^5 J$ (J charge d'un ion).

La faiblesse des courants à mesurer oblige à laisser en circuit les appareils de mesure pendant des temps assez longs (souvent un quart d'heure), aussi est-il indispensable d'être soigneusement à l'abri des perturbations qui s'attachent aux mesures électrométriques délicates. On s'est mis à l'abri des effets d'influence au moyen d'écrans électrostatiques et des défauts d'isolement par l'artifice de l'anneau de garde. Ces deux précautions doivent être prises de manière parfaite si l'on veut pouvoir affirmer avec certitude que les anomalies nombreuses que l'on rencontre dans les résultats tiennent à des particularités présentées par les phénomènes étudiés et non à des perturbations inhérentes au montage. Il est aussi indispensable d'installer solidement les appareils pour être à l'abri d'ébranlements et de vibrations, les mesures ne pouvant échapper à toute critique que si l'appareil est

en parfait repos ; le démontage et le remontage des appareils sont notamment suivis de perturbations, dues probablement à l'électrisation des isolants, qui rendent délicate l'interprétation des résultats n'ayant pas été obtenus un temps suffisant (plusieurs heures) après l'installation définitive des appareils.

6. Variabilité des résultats. — A première vue les résultats obtenus présentent de grandes irrégularités ; ces dernières sont soit de faible amplitude mais leur production est fré-

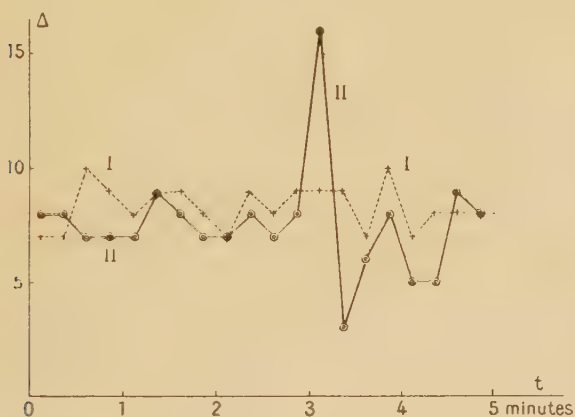


Fig. 3.

quente, on pourrait les qualifier de *normales*, soit d'amplitude considérable, mais leur apparition est fort rare, elles sont *anormales*.

a) *Irrégularités normales*. — Si au cours d'une mesure, qui, suivant le cas, peut durer de 5 à 15 minutes, on suit le déplacement du spot, on constate qu'il se produit des à coups, un mouvement rapide étant suivi d'un ralentissement très net, de sorte qu'il semble qu'à un mouvement continu du spot se superpose un mouvement saccadé provenant de véritables fluctuations.

Par exemple avec un appareil d'étain, entre les armatures duquel est appliquée une tension de 400 volts, de manière que l'électromètre recueille les charges négatives, les charges extraites de 15 secondes en 15 secondes sont représentées par la courbe I (fig. 3).

L'effet de ces irrégularités se traduit dans le résultat des mesures par des variations qui peuvent atteindre le dixième de la valeur totale des charges exprimées.

Tout se passe donc comme si à un phénomène continu se superposaient des variations plus ou moins rapides ayant pour effet de changer de $1/10$ la valeur des résultats.

b) *Irrégularités anormales.* — Il arrive, assez rarement d'ailleurs, qu'il se produit de brusques irrégularités atteignant des valeurs relativement grandes, ces augmentations subites sont suivies aussitôt de diminutions et aux avances rapides du spot succèdent des ralentissements très nets de son déplacement.

Par exemple le récipient d'étain dont il a été question plus haut a donné une fois, dans des conditions identiques, les résultats représentés par la courbe II de la figure 3.

Quelque fois les charges extraites au moment de ces anomalies se trouvent être si considérables que les mesures faites sont inutilisables et que les résultats obtenus doivent être écartés dans l'interprétation des phénomènes ; heureusement ces grandes irrégularités se présentent fort rarement et l'on peut souvent effectuer des mesures pendant de nombreuses heures sans les rencontrer.

c) *Irrégularités de l'intensité du rayonnement cosmique* ⁽¹⁾. — Quand on se place au point de vue *statistique* et que l'on examine des *moyennes* de résultats, le rayonnement cosmique présente une grande constance ; les plus vieilles et les plus récentes mesures effectuées dans la troposphère

⁽¹⁾ Voir à ce sujet les articles de A. WIGAND, *Phys. Zeitsch.*, 25 (1924), 445 et W. KOLHÖRSTER, *Phys. Zeitsch.*, 34 (1933), 809.

n'indiquent aucun changement dans l'intensité moyenne du rayonnement de ces 20 dernières années.

Mais si l'on considère les valeurs *instantanées* on constate qu'elles présentent de grandes irrégularités et il suffit d'avoir vu fonctionner une installation d'étude du rayonnement cosmique au moyen de compteurs pour être convaincu de la discontinuité présentée par son émission et comprendre l'existence de changements constants dans son intensité.

Ces changements paraissent liés à de véritables fluctuations de l'intensité du rayonnement ; il ne s'agit pas ici d'en faire l'analyse ni d'en discuter l'origine, nous voulons simplement en signaler l'existence et en rappeler les caractères qui sont analogues à ceux des irrégularités que présente l'ionisation en vase clos. Comme dans ce dernier cas les variations de l'intensité du rayonnement cosmique atteignent généralement quelques centièmes des valeurs mesurées, elles sont alors très fréquentes, en général apériodiques, quelques-unes présentant, semble-t-il, des caractères de périodicité ; mais à côté de ces irrégularités pour ainsi dire *normales* s'en présentent d'autres d'amplitude beaucoup plus grande se produisant beaucoup plus rarement, elles ont l'allure de véritables chocs on peut les qualifier d'*anormales*.

Les premières se suivent à des intervalles de quelques secondes, elles sont la cause du mouvement saccadé se superposant au déplacement continu du spot de l'électromètre ; ces irrégularités correspondent parfois à des changements lents, apparaissant assez brusquement mais disparaissant progressivement, elles présentent une certaine analogie avec les perturbations magnétiques auxquelles on a essayé de les relier et paraissent liées aux variations barométriques et aux changements thermométriques de l'atmosphère, on a même cru constater qu'elles présentaient comme eux des maxima et des minima dans le courant d'une journée.

Les deuxièmes ont l'allure de *chocs* et correspondent à des

productions d'ions en nombre considérable (plusieurs millions) elles produisent des *sauts* dans l'ionisation et s'expliquent par de véritables désintégrations atomiques ; leur production dépend des masses métalliques absorbantes qui environnent l'appareil détecteur ; par exemple s'il n'y a pas de plomb dans le voisinage, on constate la production de 0,007 sauts par heure ; en plaçant du plomb d'un seul côté de l'appareil on en compte 0,04 et avec du plomb de tous côtés 0,069 par heure. L'augmentation de la sensibilité du dispositif a permis à Messerschmidt (13) d'augmenter considérablement le nombre de sauts enregistrés ; il a pu ainsi montrer d'une part l'influence exercée par la nature du métal, d'autre part celle de l'épaisseur des écrans traversés par le rayonnement.

Les études faites (1) au moyen de la chambre de Wilson par Anderson, par Blackett et Occhialini ont montré que ces sauts d'ionisation correspondent à la formation de gerbes de rayons renfermant des électrons négatifs, des électrons positifs et aussi des noyaux atomiques. P. Auger et ses élèves (14) ont étudié les conditions de production de ces gerbes ; ils ont montré que leur fréquence (qui peut atteindre plusieurs dizaines par heure) augmente d'abord avec l'épaisseur du plomb « gerbigène » puis diminue après être passée par un maximum pour une épaisseur de plomb de 17 mm. ; il résulte en outre de leurs travaux que c'est surtout la partie molle du rayonnement cosmique qui provoque la formation de gerbes.

De cet ensemble de faits nous retiendrons la similitude de caractères des variations de l'ionisation en vase clos et de l'intensité du R. C. ; il n'y a d'ailleurs rien d'étonnant à ce que ces caractères soient les mêmes puisque la plupart du temps on a employé la méthode de la chambre d'ionisation pour étudier le rayonnement cosmique.

(1) Voir à ce sujet les exposés de *Physique Atomique expérimentale* publiés par la Maison Hermann.

7. Variations des résultats avec le milieu environnant. —

a) *Influence de l'aération du laboratoire.* — Une simple aération de la salle où se trouvent disposées les expériences diminue de manière sensible la valeur des résultats.

Exemple : un cylindre de nickel ayant les dimensions que nous avons indiquées plus haut, enfermé dans une double caisse de bois doublée de lames de plomb d'une épaisseur totale de 6 mm. donne, avec une tension aux électrodes de 80 volts, un courant de 58,5 quand les charges extraites sont négatives et 60 quand elles sont positives ⁽¹⁾. Après aération de la salle pendant une heure, par de l'air venant de l'extérieur, les courants tombent à — 45 et + 46. Le lendemain matin, le laboratoire restant clos toute la nuit, on obtient pour le même champ des courants de — 62 et + 65 ; l'ionisation augmente donc quand le laboratoire est clos et diminue après qu'on l'a aéré.

Il faut probablement rattacher aux constatations précédentes le fait qu'en fin de journée il y a une légère diminution des courants observés par rapport à ceux que l'on obtient dans la matinée à l'ouverture du laboratoire. Ainsi un récipient en étain, sous une tension de 80 volts, a donné le matin des courants de — 529 et + 525 et en fin de journée — 501 et + 495.

Tout se passe comme s'il y avait, dans une pièce close, formation et concentration de substances radioactives. Il n'est pas nécessaire pour expliquer cette particularité de supposer qu'il y a eu pollution du laboratoire par des substances radioactives proprement dites, ou que les matériaux formant les parois ont une radioactivité spécifique, puisqu'il est admis qu'il se produit des transmutations sous l'influence

(1) Cette déviation moyenne de 59 unités du spot de l'électromètre se produit en 15 minutes, le volume du récipient étant de 4.580 cm³ et une unité valant $1,3 \cdot 10^5$ J. cela correspond à une production moyenne de 1,8 J par seconde et par cm³ à l'intérieur du récipient ; dans l'étain cette production est de 13 J.

des rayons cosmiques, les désintégrations atomiques correspondantes intéresseront non seulement la matière entrant dans la construction du laboratoire mais encore tous les objets qu'il contient; il n'y a donc pas lieu d'être surpris qu'il puisse y avoir concentration dans un endroit clos d'une espèce d'émanation radioactive et que « l'ionisation spontanée » puisse s'y trouver augmentée.

b) *Influence du voisinage de masses métalliques.* — Un récipient de fer, sous une tension de 80 volts, donne les valeurs quotidiennes moyennes suivantes (déplacement du spot en 15 minutes).

Courants positifs . .	103	104	108	107
Courants négatifs . .	108	105	110	102

Si on enveloppe le récipient d'un écran de plomb de 20 cm. d'épaisseur les valeurs des courants tombent d'abord à + 95 et — 101, puis elles augmentent progressivement et donnent les moyennes quotidiennes suivantes :

Courants positifs . .	110	110	114	130	124
Courants négatifs . .	110	108	123	115	124

Si on enlève le plomb on obtient les valeurs moyennes quotidiennes :

Courants positifs . .	128	114		100
Courants négatifs . .	130	114		104

Les divers métaux expérimentés présentent des effets analogues : l'interposition de l'écran de plomb étant suivie d'une diminution, puis d'une augmentation progressive jusqu'à une valeur limite. La diminution est facilement explicable par l'absorption qu'exerce le plomb sur le rayonnement cosmique excitateur et permet comme nous allons voir d'en calculer les coefficients d'absorption ; quant à l'augmentation progressive qui suit, elle est probablement due à la désintégration que les rayons cosmiques produisent dans la masse de plomb et dont les effets sur le gaz qui est contenu dans le récipient clos, croissent progressivement jusqu'à une valeur limite.

8. Détermination des coefficients d'absorption par le plomb du rayonnement primaire intervenant. — Quel que soit le processus de l'ionisation du gaz qui est enfermé dans le récipient, on peut admettre que sa valeur diminue proportionnellement à l'intensité du rayonnement primaire. Il suffit donc de mesurer les valeurs de l'ionisation avec ou sans écran protecteur de plomb pour déterminer le coefficient d'absorption par ce métal du rayonnement qui est la cause du phénomène.

Récipient de zinc. — La tension à l'extraction étant de 240 volts, la moyenne de 6 déterminations successives donne :

Avant l'introduction de l'écran. . . .	88,5
Après l'introduction de l'écran. . . .	82,5

On a donc eu une diminution moyenne de 6 unités sur 88,5 par interposition d'un écran de plomb de 20 cm. d'épaisseur. On en tire un coefficient d'absorption massique de $3,1 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{g} \cdot \text{cm}^{-1}$.

La même expérience a été répétée avec des récipients d'étain, de plomb, de cuivre, de nickel, d'aluminium et de fer, elle a donné des résultats du même ordre de grandeur ; la moyenne de ces résultats correspond à une valeur de

$2,7 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$. Il s'agit donc d'une partie dure du R. C.

Quoique Regener (15) ait obtenu des valeurs du coefficient d'absorption massique s'abaissant jusqu'à $2 \cdot 10^{-4}$ après filtrage par des épaisseurs de 230 m. d'eau, les valeurs que nous avons obtenues sont certainement trop faibles, bien que le laboratoire très étroit où l'on a opéré soit situé au rez-de-chaussée d'un immeuble de 4 étages à murs très épais. Cette faiblesse est certainement due à ce que le plomb fait sentir, comme nous l'avons signalé, son effet de voisinage dès le début, ce qui diminue son absorption apparente et par conséquent la valeur du coefficient.

Il apparaît donc, que dans les conditions où nous avons opéré, les courants d'ionisation sont commandés par le rayonnement cosmique après filtration de ce dernier par les murs du laboratoire et les plafonds superposés qu'il a eu à traverser ; ce résidu est caractérisé par la valeur de son coefficient d'absorption massique ; naturellement ce résidu dépend essentiellement du local où se trouvent disposées les expériences ; aussi dans ce genre de recherches aura-t-on autant de résultats que l'on aura d'expérimentateurs travaillant dans des laboratoires différents.

9. Constitution du rayonnement des métaux ordinaires : émission corpusculaire. — L'expérience montre qu'en l'absence de tout champ extracteur l'électromètre accuse des charges en général positives dont l'origine est probablement la suivante : le cylindre C joue en quelque sorte le rôle de cylindre de Faraday et les charges qui produisent la déviation de l'aiguille ne peuvent provenir que de la surface intérieure du cylindre : l'électromètre accuse l'excès de charges positives ou négatives émises par cette surface, les charges résultant de l'ionisation des gaz ou projetées par le fil F n'ayant pas à intervenir.

Il est cependant juste de remarquer que l'excès de charges accusé par l'électromètre peut être dû, dans le cas de char-

ges + à la différence de mobilité des ions + et — présents dans le volume du gaz, cette différence facilitera la diffusion des ions — vers l'électrode de grande surface C et laissera un excès de charges + dans le cylindre de Faraday.

Bien entendu ceci suppose que F et C sont formés du même métal, sinon l'électromètre dévierait lentement sous l'action de la différence de potentiel au contact des métaux formant les deux électrodes ; c'est la raison pour laquelle ces dernières ont été tirées du même échantillon. Le passage à la cisaille du métal formant F peut produire, il est vrai, une modification physique susceptible de créer une différence de potentiel entre F et C, mais celle-ci doit être négligeable car les résultats obtenus dans cette première série d'expériences sont confirmés par ceux que donne un deuxième montage où les électrodes sont chimiquement et physiquement identiques.

Comme nous l'avons déjà dit le courant i_0 obtenu en l'absence de tout champ extracteur a pour expression :

$$i_0 = S[(\alpha) - (\beta)]$$

(α) est en général plus grand que (β), l'électromètre accuse donc une charge positive ; à mesure que cette charge croît, l'électrode F restant isolée, il s'établit entre F et C une différence de potentiel de valeur progressivement croissante qui, s'opposant à l'émission des charges en excès (en général positives), rétablit l'équilibre qui se trouve atteint quand l'électromètre n'accuse plus aucun courant. La valeur de la différence de potentiel qui correspond à cet équilibre nous renseigne sur l'énergie avec laquelle ces corpuscules sont émis par les divers métaux.

Les expériences ont été faites avec le zinc, l'étain, le plomb, l'aluminium, le nickel, le cuivre et le fer ; elles indiquent en général un excès de charges positives, sauf pour les deux derniers métaux, ces charges paraissent diminuer avec le temps à partir du nettoyage initial.

Quant aux différences de potentiel antagonistes correspondant à l'équilibre, elles sont de l'ordre de quelques centièmes de volts, elles paraissent diminuer à partir du moment où l'expérience a été installée. La figure 4 représente les résultats obtenus avec les divers métaux : les courbes Zn_1 et Zn_2 , Pb_1 et Pb_2 ont été obtenues avec le même montage mais à quelques jours d'intervalle.

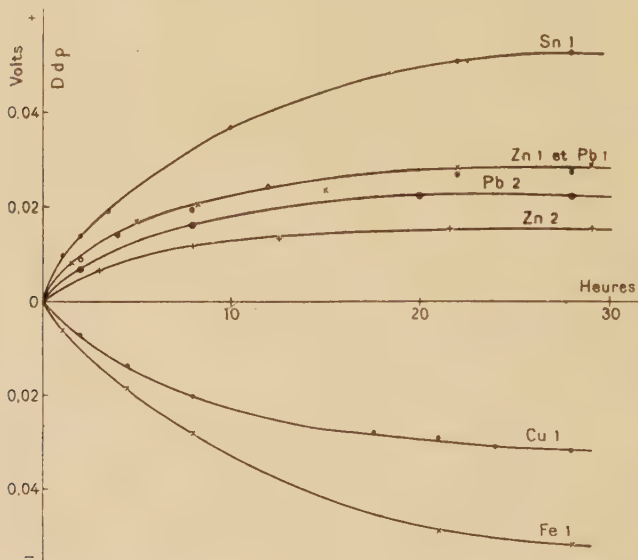


Fig. 4

L'ensemble de ces résultats s'explique s'il y a projection des centres électrisés par les surfaces métalliques ; ces centres sont probablement des deux signes avec un excès de centres + pour le zinc, l'étain, le plomb, l'aluminium et le nickel, tandis que cet excès serait — pour le cuivre et le fer. La vitesse de projection de ces centres est très faible puisqu'il suffit pour les arrêter de tensions antagonistes inférieures à 1/10 de volt. Nous sommes loin d'avoir, ainsi que le croyait Campbell projection jusqu'à des distances d'une dizaine de

centimètres de centres + d'énergie voisine de celle des rayons α du radium.

Sans doute, comme nous l'avons signalé, il y a projection de gerbes formées de centres + et —, qui peuvent intervenir dans ces charges extraites à champ nul et correspondre à des énergies assez élevées mais leur production est assez rare et provoque de véritables *sauts* dans les valeurs de ces charges, pour les éviter nous avons systématiquement écarté tous les résultats anormaux.

10. Constitution du rayonnement des métaux, émission de photons. — a) *Extraction à champ constant.* — La dissymétrie entre les charges + et — que montrent les résultats des expériences sans champ extracteur se retrouve également avec un champ constant ; elle se produit en général en faveur des charges + et s'atténue avec le temps, elle présente de grandes irrégularités et dépend peu du champ extracteur, mais se trouve plus marquée quand ce champ est nul. Ce dernier fait tient sans doute à la différence de mobilité des ions + et — qui se trouvent dans le gaz ; la mobilité des ions — étant plus grande que celle des ions +, leur vitesse de diffusion sera elle aussi plus grande, à champ nul un excès de ces ions — viendra au contact de la surface de G et y perdra sa charge, d'où l'excès d'ions + restant dans le cylindre et dont l'électromètre accuse la charge. En présence d'un champ au contraire, les ions se déplaceront rapidement vers les électrodes et y perdront leur charge, sans qu'il reste dans le gaz un excès de l'une des charges par suite du faible nombre d'ions produits dans le récipient.

b) *Extraction à champ variable, saturation.* — Quand on fait croître la tension aux électrodes, on constate que le courant augmente d'abord très rapidement puis d'une manière beaucoup plus lente, mais l'on ne peut pas mettre nettement en évidence un courant de saturation.

Ainsi avec le zinc on obtient les résultats correspondant à

la figure 5 la courbe 1 quand on fait croître lentement la tension jusqu'à 32 volts, la courbe 2 quand la tension s'élève jusqu'à 480.

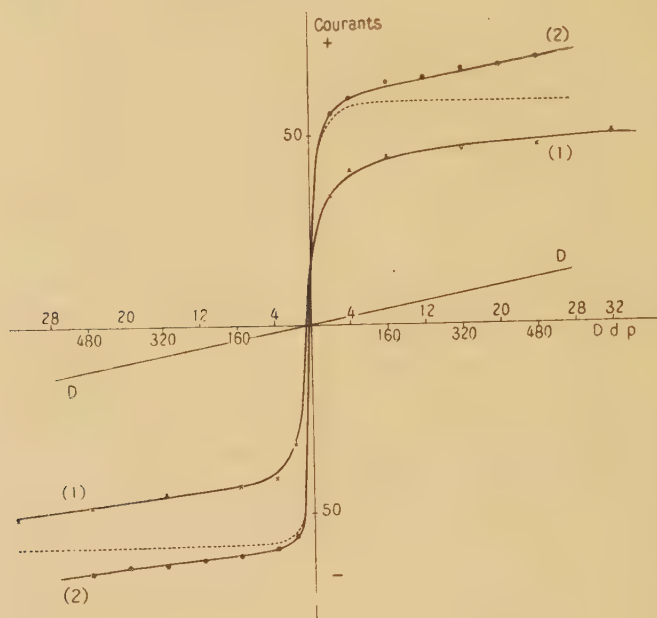


Fig. 5.

On voit que, comme dans tous les cas où la source ionisante est d'intensité très faible et où la recombinaison joue peu, la quasi saturation est très rapidement atteinte; en outre la saturation n'est pas rigoureuse comme dans tous les cas où le rayonnement agissant est très faible et atteint les armatures collectrices de la chambre d'ionisation en y provoquant l'apparition de radiations secondaires. On remarquera sur les courbes que : 1° ces derniers effets présentent en fonction de la tension des variations représentées par la parallèle D menée par l'origine à l'asymptote à la courbe de saturation; 2° ces effets une fois retranchés, on obtient une

courbe de saturation (courbe pointillée) dont la forme ne peut s'expliquer que par l'action de radiations ionisantes provenant soit de l'extérieur soit des parois du récipient métallique ; 3° la dissymétrie constatée à champ constant entre les charges + et — subsiste dans les courbes de saturation ; mais la différence entre les charges + et — extraites pour une valeur déterminée du champ n'est pas comme l'on pourrait s'y attendre, égale à l'excès des charges que l'on obtient à champ nul ; cela ne peut s'expliquer que si l'on admet, comme nous l'avons déjà supposé, qu'une partie de ces dernières charges est due à ce que les ions négatifs diffusent plus facilement que les positifs. Sauf pour le fer et le cuivre, la dissymétrie accuse un excès de charges positives.

11. Comparaison des résultats obtenus avec les divers métaux. — La complexité des effets que produisent les rayons cosmiques fait comprendre que la comparaison des résultats obtenus avec des métaux différents sera difficile, puisque ces résultats dépendent non seulement des échantillons utilisés, mais encore de la forme des appareils, de la disposition des laboratoires ou des objets qu'ils contiennent.

Dans les conditions où nous opérons qui ont été indiquées plus haut et pour la partie filtrée du rayonnement cosmique correspondant à un coefficient d'absorption massique de quelques unités $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{g.}^{-1}$ les métaux que nous avons essayés donnaient les courants moyens suivants :

	Sn	Pb	Fe	Cu	Zn	Ni	Al
Courant (u.a.) .	450	150	110	60	57	56	55
Nombre de J par $\text{cm}^2\text{-sec}$. .	13,5	4,5	3,3	1,8	1,7	1,7	1,65

La classification établie pour les 4 premiers de ces métaux présente un sens, quant aux derniers elle ne peut qu'établir une présomption tant les valeurs trouvées sont voisines les unes des autres.

Si l'on prend les valeurs totales de l'ionisation trouvées par Campbell, c'est-à-dire si l'on ajoute les résultats correspondants aux divers effets qu'il croyait séparer, on obtient le classement suivant pour ces mêmes métaux :

	Sn	Pb	Fe	Cu	Zn	Al
Courants (u. a.).	340	315	283	264	165	157

12. Conclusions. — Cette première série d'expériences nous amène donc aux conclusions suivantes :

Sous l'action de rayons cosmiques caractérisés par leur coefficient d'absorption massique, il y a ionisation du gaz contenu dans un récipient métallique. Cette ionisation est due d'une part à l'action directe de ces rayons, d'autre part à un rayonnement secondaire émis par les parois. Ce rayonnement secondaire comprend d'abord, à l'état sporadique, des gerbes de centres +, de centres — et probablement de photons d'un quantum relativement élevé dont l'effet se traduit par des sauts d'ionisation et de l'irrégularité dans les résultats, ensuite à l'état pour ainsi dire continu, probablement une projection de centres positifs et négatifs de faible vitesse et certainement une émission de photons peu pénétrants dont la deuxième série d'expériences nous permettra de situer la position dans le domaine intermédiaire.

III. — Deuxième série d'expériences.

1. Réalisation des expériences. — Il s'agit de déterminer l'ionisation entre deux lames métalliques parallèles, formées d'un même métal et dont on peut faire varier à volonté l'écartement.

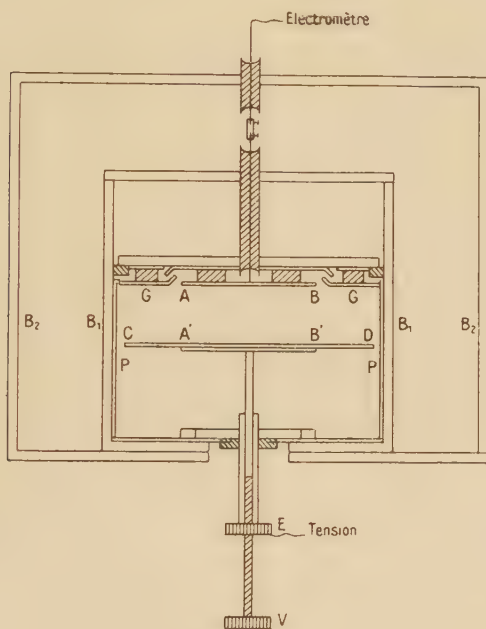


Fig. 6.

Les deux lames métalliques AB et CD de forme carrée disposées horizontalement sont placées dans un récipient dont les parois P, de même métal que les lames, sont assez éloignées de celles-ci pour que l'ionisation provenant de la partie absorbable du rayonnement secondaire émis par les parois n'affecte pas le gaz compris entre AB et A'B'. En outre un anneau de garde G formé du même métal délimite par-

faitement la surface S qui intervient dans la théorie du phénomène et supprime toute correction provenant du bord des lames (figure 6).

La lame AB reliée à l'électromètre et son anneau de garde sont fixes, un tube à coulisse commandé par le mouvement de la vis V permet de déplacer la lame $A'B'$ parallèlement à elle même et de faire varier de quantités connues la distance a qui sépare les deux armatures $AB A'B'$.

L'ensemble de l'appareil est placé dans une double caisse de bois $B_1 B_2$ doublée de plomb et dont l'intervalle $B_1 B_2$ peut être rempli de briquettes de plomb de manière à former écran.

Les dimensions sont les suivantes : $AB = A'B' = 22$ cm. $CD = 50$.

Largeur de l'anneau de garde $G = 13$ cm. 5. Course de plateau $CD = 20$ cm.

2. Discussion des expériences. — Pour une distance x entre les plateaux, la surface utile de la lame AB étant S , le courant i correspondant à la saturation aura pour valeur :

$$i = 2R_0 Sx + 2R_1 S(1 - e^{-kx}) + 2R_1' S(Sx) + [(\alpha) + (\beta)]S \quad (1).$$

Les diverses lettres R_0 , R_1 , R_1' (α) et (β) conservant dans cette équation le sens que nous leur avons donné plus haut (page 14).

Le coefficient d'absorption de la partie molle du rayonnement secondaire émis par la paroi étant représenté par k , la portion de ce rayonnement absorbée après un parcours égal à x sera proportionnelle à $(1 - e^{-kx})$ et le nombre correspondant d'ions produits sera évidemment égal à $2R_1 S(1 - e^{-kx})$ le coefficient 2 indiquant que les surfaces métalliques en regard interviennent toutes deux de la même façon.

Le courant i est indépendant du sens du champ extracteur ; quand la distance x qui sépare les deux armatures augmente, la courbe représentative de i en fonction de x qui correspond à l'équation (1) tend vers une droite d'équation.

$$i_0 = 2R_0'Sx + [(\alpha) + (\beta)]S + 2R_1S$$

en désignant par R_0' la somme $[R_0 + R_1'S]$.

La courbe (fig. 7) doit donc se terminer par une droite D dont le coefficient angulaire est $2R_0'S$, il serait donc facile de déterminer R_0' et par suite R_1' si l'on admet pour R_0 les valeurs généralement admises.

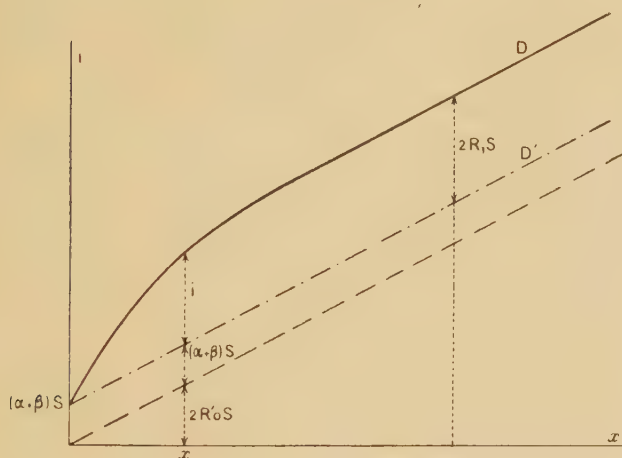


Fig. 7.

Pour $x=0$ on a :

$$i_0 = [(\alpha) + (\beta)]S \quad (2)$$

la courbe ne doit donc pas passer par l'origine si le métal émet des centres + et —, l'ordonnée du point A où elle coupe l'axe oi donne la valeur de $[(\alpha) + (\beta)]$ puisque l'on connaît S.

Si, par le point A, on mène une parallèle D' à la droite D de coefficient angulaire $2R_0'S$, la différence des ordonnées des points correspondants de ces droites a pour valeur $2R_1'S$ d'où un moyen facile de détermination de R_1 .

L'équation (1) peut s'écrire :

$$i = i' + [(\alpha) + (\beta)]S + 2R_0'Sx ,$$

en posant :

$$i' = 2R_1S[1 - e^{-kx}]$$

Comme on le voit sur la figure, une simple soustraction donne la valeur de i' correspondant à une abscisse donnée x , on a donc un moyen facile de déterminer le coefficient d'absorption k caractéristique de la partie molle du rayonnement émis par le métal.

Enfin si on prend la valeur du courant i'_0 obtenu en l'absence de tout champ extracteur dans la première série d'expériences et si l'on admet que les charges accusées à l'électromètre sont dues uniquement à ce qu'il y a dissymétrie entre le nombre des centres $+$ et $-$ projetés, sans faire intervenir les différences introduites par la diffusion, on aura :

$$i'_0 = S[(\alpha) - (\beta)]$$

qui jointe à (2) permet de déterminer (α) et (β) .

Si on applique ce qui précède aux résultats publiés par Campbell on trouve pour k des valeurs voisines de 0,5 ; nous obtiendrons plus loin des coefficients de cet ordre de grandeur.

3. Influence de la préhistoire du gaz soumis au rayonnement. — La manière dont est disposée cette deuxième série d'expériences permet de renouveler facilement le gaz contenu dans le récipient sans toucher aux connections dont les modifications sont toujours accompagnées de perturbations temporaires gênantes ; il suffit d'enlever, en la faisant glisser, l'une des parois des caisses qui enveloppent les appareils, ou bien de remplir le récipient par déplacement quand il s'agit d'un gaz lourd comme le gaz carbonique. Voici les résultats de l'expérience.

a) Quand le récipient reste clos pendant un temps assez

long, on constate que la valeur de « l'ionisation spontanée » augmente progressivement avec le temps comme si le gaz enfermé acquérait une prédisposition à l'ionisation sous l'action du rayonnement émis par les parois ; des déterminations successives faites pendant plusieurs jours indiquent d'abord une augmentation de la valeur moyenne des courants mesurés, puis, après une valeur maxima, une lente diminution. Cette anomalie, niée par certains auteurs, a été signalée par d'autres qui ont voulu y voir une preuve de l'existence d'une émanation dégagée par le métal. Cette discordance des résultats est d'une explication fort simple si l'on considère qu'il y a superposition de deux effets : 1^o l'un dû à la modification de l'atmosphère autour de l'appareil et dont l'origine se rattache à la désintégration atomique que le rayonnement cosmique provoque dans les matériaux des parois ou des objets contenus dans le laboratoire ; ce premier effet augmente si le laboratoire reste clos et diminue si on l'aère : 2^o l'autre dû au gaz même qui est enfermé dans le récipient et dont l'ionisation augmente avec la durée de la réclusion, et diminue dès qu'on le renouvelle.

Nous avons donné des résultats obtenus dans la première série d'expériences montrant l'existence du premier effet, des expériences analogues peuvent être faites avec ce deuxième montage, elles montrent que les courants d'ionisation augmentent si le laboratoire reste clos ; quant à l'existence du deuxième effet, elle nous semble démontrée par le fait que le renouvellement de l'air dans le récipient diminue les valeurs des courants d'ionisation tandis que son séjourne-
ment l'augmente.

On conçoit que ces deux effets puissent s'ajouter ou se contrarier suivant la manière dont les expériences ont été conduites ou se sont succédées, de leur opposition ou de leur conjonction découleront des résultats d'allure tout à fait différente ; les contradictions relevées dans les résultats

obtenus par des auteurs différents sont donc facilement explicables.

Si, par exemple, on fait coïncider le renouvellement de l'air dans le récipient avec l'aération du laboratoire, la diminution de l'ionisation devient considérable, ainsi que le montrent les courbes de la figure 8 obtenues avec un récipient d'aluminium.

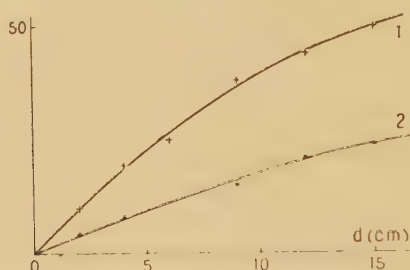


Fig. 8.

Courbe 1 : Avant aération du laboratoire et renouvellement de l'air dans l'appareil.

Courbe 2 : Après.

L'explication du deuxième effet peut être la même que celle du premier et se rattacher à une désintégration atomique du métal formant le récipient, désintégration provoquant dans le gaz une formation d'éléments radioactifs venant augmenter jusqu'à une certaine valeur de saturation les courants d'ionisation. On conçoit alors que le renouvellement du gaz ait pour effet de diminuer les courants d'ionisation observés. En outre l'équilibre doit dépendre essentiellement de la nature du métal formant le récipient, il s'ensuit qu'un même gaz provenant d'un récipient métallique déterminé, après avoir séjourné dans un récipient de métal différent, donnera quand on le remettra dans le premier récipient des courants d'ionisation de valeur différente, c'est bien ce que montre l'expérience.

4. **Influence de la nature du gaz.** — Si on remplace l'air contenu dans le récipient par un gaz présentant un coefficient d'absorption plus grand pour les radiations qu'émet le métal, l'ionisation sera pour cela même augmentée.

On sait que le coefficient d'absorption pour les radiations du domaine intermédiaire est plus grand pour le gaz carbonique que pour l'air, il s'ensuit que les courants d'ionisation seront plus grands avec le premier gaz qu'avec le deuxième, ainsi que le montre l'expérience.

5. **Charges extraites à champ nul : émission de corpuscules.** — Etant donné la disposition des expériences, s'il y a projection par les parois métalliques d'un excès de charges d'un signe déterminé, la présence de ces charges dans l'espace compris entre AB et A'B' produira une déviation du spot électrométrique dans le sens correspondant au signe des charges en excès.

Comme dans la première série d'expériences, on trouve encore qu'il y a, sauf pour le fer et le cuivre, un excès de charges positives.

Remarquons que ces expériences ne peuvent donner que des présomptions sur le signe des charges en excès qui sont projetées dans le gaz par le métal, car la différence de mobilité des ions + et — interviendra. En outre les lames AB et CD sont placées dans des conditions susceptibles d'introduire des perturbations dissymétriques qui peuvent fausser les résultats; AB est portée par une lame isolante et reliée à l'électromètre par des fils, les charges émises par sa face non en regard avec CD et par les fils de connection interviendront dans le phénomène, tandis que la lame CD qui est reliée au sol n'interviendra que par sa face en regard de AB.

6. **Charges extraites avec des champs variables pour une même épaisseur.** — Les expériences consistent à déterminer pour chaque métal comment varient les charges avec le

champ extracteur quand la distance séparant AB et CD a une valeur donnée.

On constate, comme dans la première série d'expériences, et pour des raisons analogues, que l'on ne peut mettre la saturation en évidence.

7. Charges extraites à champ constant pour des épaisseurs variables. — C'est la partie la plus intéressante des expériences puisqu'elle permet de déterminer les caractères des radiations émises par la surface du métal.

Les expériences sont conduites de la manière suivante : on détermine pour une distance connue, les courants + et — obtenus avec un champ extracteur auquel on donne toujours la même valeur (40 volts/cm.), on change ensuite la distance et on mesure les nouveaux courants en ayant soin de maintenir le champ constant. C'est en opérant ainsi qu'ont été obtenus les résultats correspondant à la figure 8.

Afin d'éliminer tout effet perturbateur susceptible d'introduire une dissymétrie entre les charges + et — on a pris, pour représenter et discuter les résultats, les valeurs moyennes des courants positifs et négatifs. Nous avons indiqué plus haut comment la discussion de la forme de la courbe et de son équation permet de déterminer les constantes caractéristiques du rayonnement et en particulier son coefficient d'absorption par le gaz expérimenté; nous renverrons le lecteur à la page 32 où il retrouvera l'équation et la courbe générales que nous allons utiliser.

8. Cas de l'étain. — a) Les résultats suivants représentent la moyenne de ceux qui ont été obtenus avec ce métal dans une série d'expériences, ils correspondent à la courbe S_{ni} de la figure 9.

x mm.	4	8	10	12	20	30	40	50	70	90	120	150
i	67	97,5	113	125	140	155	173	180	185	190	202	207

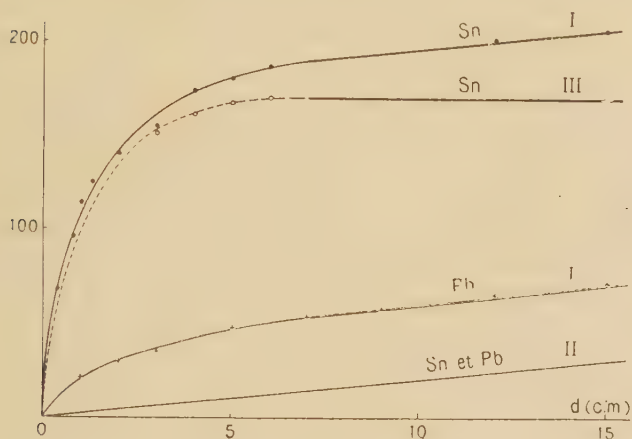


Fig. 9.

On remarquera que le tracé de la courbe la fait passer, par extrapolation, par un point très voisin de l'origine, de sorte que l'on peut affirmer que les charges projetées par les surfaces métalliques en regard sont certainement très faibles, puisque leur valeur $I(x) + (\beta)S$ correspond au point A où la courbe coupe l'axe des ordonnées. On remarquera aussi que la courbe se termine bien comme l'indique l'équation par une partie rectiligne dont la pente est égale à $2(R_0 + R_1S)$ et correspond à la partie pénétrante du rayonnement ionisant.

Nous avons déjà indiqué comment, en retranchant des valeurs de i (courbe I) les valeurs correspondantes à la partie pénétrante (droite II), on obtient la courbe III d'équation $i' = 2R_1S(1 - e^{-kx})$ qui permet la détermination des coeffi-

cients k d'absorption des radiations peu pénétrantes émises par le métal.

Avec les résultats moyens qui précèdent et la courbe III qui leur correspond on obtient, aux diverses distances, les coefficients suivants.

Distance au métal (cm.)	1	2	3	4
Coefficient K . . .	1,06	0,91	0,78	0,76

On voit que dans le voisinage du métal les coefficients sont plus grands qu'à quelques centimètres de ce dernier, cela n'a rien de surprenant, tout se passe comme s'il y avait émission d'une bande diffuse de radiations dont les moins pénétrantes sont absorbées par les premiers millimètres d'air qui entourent le métal, les autres pouvant faire sentir leur effet jusqu'à quelques centimètres, où leur coefficient d'absorption tend vers une valeur limite.

Ces valeurs limites sont loin d'être constantes ; comme les courants d'ionisation eux-mêmes, elles dépendent essentiellement des conditions expérimentales : aération du laboratoire, voisinage de masses de métal, il est probable que dans des laboratoires différents on n'obtiendrait pas les mêmes valeurs.

Malgré cette divergence on verra que tous les métaux ne se comportent pas de la même manière et que quelques-uns d'entre eux se différencient nettement des autres par leurs coefficients d'absorption.

b) On a déterminé les coefficients d'absorption par le gaz carbonique, dont la grande densité facilite le remplissage des appareils qui ne sont d'ailleurs pas très étanches. Les expériences sont faites successivement avec l'air et le gaz carbonique à quelques heures d'intervalle pour que les conditions n'aient pas eu le temps de varier, on a obtenu :

Coefficient K	Distance au métal (cm.)			
	1	2	3	4
Dans l'air	0,63	0,62	0,66	0,67
Dans CO ²	0,85	0,92	0,91	—
Rapport	1,35	1,5	1,4	—

On voit que le rapport des coefficients n'est pas très différent de celui des densités (1,5). La différence peut être due à ce que l'étanchéité du récipient est défectueuse et le gaz carbonique se trouve souillé d'air, ce qui a pour effet de donner des coefficients plus petits qu'ils ne devraient être. Il est juste aussi de remarquer que pour les radiations du domaine intermédiaire, le coefficient K d'absorption est donné par la formule de Pierce et Bragg de sorte que le rapport $\frac{K}{\rho}$ n'a pas tout à fait la même valeur pour l'air et le gaz carbonique.

c) On peut se demander si, en plus des radiations absorbables caractérisées par les coefficients que nous venons de déterminer, il n'y aurait pas émission par le métal de radiations plus pénétrantes intervenant dans l'ionisation et correspondant au terme de l'équation dont le coefficient est R_1 ? Pour le voir il suffit de recouvrir avec de minces feuilles d'aluminium les lames d'étain du récipient en expérience; si l'ionisation observée est alors nettement supérieure à ce qu'elle serait avec un récipient bâti uniquement avec des lames d'aluminium et inférieure à ce qu'elle était avec l'étain seul, on peut en conclure que ce dernier métal émet des radiations ionisantes capables de traverser de minces feuilles d'aluminium et qu'il devient possible de caractériser par leur coefficient d'absorption à travers ce métal: c'est bien ce que l'expérience a démontré.

Des expériences successives et croisées ont donné les courants moyens suivants :

Métal	Distance au métal (cm.)							Courbe fig. 10
	2	4	6	8	10	12	15	
Étain seul	64	82	90	96	101	106	112	I
Étain couvert d'aluminium	18	27	32	36	40	42	46	II
Aluminium couvert d'alu- minium	5	9	11	14	17	18	21	III

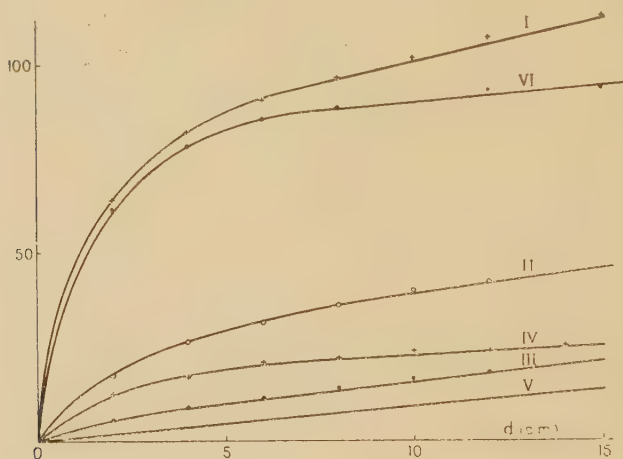


Fig. 10.

Les courbes I, II et III de la figure 10 représentent :

I l'action ionisante de l'étain I_E à laquelle s'ajoute l'action directe I_0 du rayonnement extérieur, soit $(I_E + I_0)$.

II l'action I'_E de l'étain après filtration par l'aluminium augmentée de l'action I_{AI} de l'aluminium et du rayonnement extérieur I_0 soit : $I'_E + I_{AI} + I_0$;

III l'action de l'aluminium plus celle du rayonnement extérieur $(I_{AI} + I_0)$.

La courbe IV obtenue en retranchant les ordonnées des

courbes II et III représente l'action exercée par le rayonnement I'_E émis par l'étain après qu'il a été filtré par son passage à travers une feuille d'aluminium de $2/100$ de millimètre d'épaisseur. On voit sur cette courbe qu'il s'est produit un effet métal sous l'action des radiations émises par l'étain et qui ont traversé la feuille d'aluminium car il y a émission de rayons absorbables dont l'action ne se fait sentir que dans le voisinage de la surface métallique et qui sont absorbées par quelques centimètres d'air, ainsi que l'indique la forme de la courbe : on voit aussi sur cette dernière que la pente de sa droite asymptote est très faible ce qui prouve que la partie relativement pénétrante du rayonnement qui ionise le gaz dans le récipient provient surtout de l'extérieur.

Pour avoir la part de l'ionisation provenant de l'action directe du rayonnement extérieur et que nous avons désignée par I_0 , on a mené par l'origine une parallèle à l'asymptote de la courbe III qui correspond à l'aluminium et qui est une de celles des divers métaux, dont la pente est la plus petite. L'action produite par l'étain seul (I_E) s'obtiendra en retranchant de la courbe I les ordonnées de la droite V (Courbe VI).

On voit qu'il est facile de déterminer ainsi l'intensité I_E du rayonnement de l'étain et celle I'_E de ce même rayonnement après qu'il a traversé une feuille d'aluminium de 0 cm. 002 d'aluminium.

Dans l'exemple cité on tire $I_E = 98$ et $I'_E = 24$, on en déduit le coefficient d'absorption massique $\frac{\mu}{\rho} = 260$. Miller a donné pour les radiations de λ comprises entre 1 et 5 Å la relation :

$$\frac{\mu}{\rho} = 19,4 \cdot \lambda^{2,77}$$

On en déduit $\lambda = 2,5$ Å.

L'étain émettrait donc en même temps qu'une première bande de radiations relativement absorbable de λ voisin de 5 Å (Voir plus loin) une deuxième bande plus pénétrante dans le voisinage de 2,5 Å.

9. **Expériences avec le plomb.** — *a)* Répétées avec le plomb (figure 9) les expériences ont donné comme valeurs moyennes des coefficients d'absorption :

Distance au métal (cm.)	1	2	3	4
Coefficient K	0,72	0,65	0,55	0,55

b) Le rapport des coefficients d'absorption dans CO_2 et dans l'air a été trouvé voisin de 1,5.

c) En plus de ces radiations peu pénétrantes que l'on peut caractériser par leur coefficient d'absorption dans l'air, il en existe d'autres qui, comme dans le cas de l'étain, sont capables de traverser de minces feuilles d'aluminium.

Conduites, comme il a été dit plus haut, les expériences ont donné comme coefficient d'absorption massique de l'aluminium $\frac{\mu}{\rho} = 108$ d'où l'on déduit, comme pour l'étain la longueur d'onde des radiations émises ; on trouve $\lambda = 1,85 \text{ \AA}$. Comme l'étain, le plomb émet deux bandes de radiations, les unes relativement absorbables voisines de $\lambda = 4,6 \text{ \AA}$ (voir plus loin) et les autres plus pénétrantes dans le voisinage de $1,85 \text{ \AA}$.

10. **Expériences avec le fer, le zinc et l'aluminium.** — *a)* On a obtenu les coefficients moyens :

	Distance au métal (cm.)						
	1	2	3	4	5	6	7
Pour le fer . .	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22
Pour le zinc . .	0,16	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	
Pour l'aluminium	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	

Les coefficients de même ordre de grandeur pour ces trois métaux sont nettement plus petits que pour le plomb et l'étain, par conséquent les radiations émises plus pénétrantes ; et cette plus grande puissance de pénétration explique l'anomalie présentée par ces résultats, on voit en effet que les valeurs augmentent à mesure qu'on s'éloigne du métal alors que normalement elles devraient diminuer puisque les radiations qu'émet le métal, étant filtrées par l'air environnant, sont en moyenne plus pénétrantes quand la distance au métal augmente ; l'anomalie tient sans doute à ce que, pour ces radiations, l'anneau de garde du condensateur n'est plus suffisamment large (14 cm.) pour supprimer l'action des parois, de sorte que l'équation fondamentale devrait subir de ce fait une correction. En somme quand la distance entre les armatures est grande les courants d'ionisation sont plus grands qu'ils ne seraient si la protection par l'anneau de garde était parfaite et les coefficients d'absorption que l'on déduit, plus grands qu'ils ne devraient être.

b) Le rapport des coefficients d'absorption dans CO_2 et dans l'air a été trouvé voisin de 1,5 pour les 3 métaux.

c) Y a-t-il, comme pour le plomb et l'étain une action de ces métaux pouvant traverser de minces feuilles d'aluminium ?

Les valeurs moyennes des courants obtenues avec le fer sont les suivantes :

	Distance au métal (cm.)								
	1	2	3	4	5	8	10	12	15
Fer seul . .	2	4	5	6	7	9	14	15,5	16,5
Fer couvert aluminium	1,5	3	4,5	5,5	6,5	8,5	10	11,5	13

Les courants sont plus faibles quand le fer est recouvert de feuilles d'aluminium, mais l'on ne peut rien conclure car

les valeurs données par l'aluminium seul ou par l'aluminium recouvert de feuilles identiques à celles que l'on a employées dans le cas précédent sont du même ordre de grandeur et même supérieures à celles que donnent les expériences avec le fer.

11. Expériences avec le cuivre et nickel. — Ces métaux ont donné les résultats de même ordre :

a) Résultats moyens.

	Distance au métal (cm.)				
	1	2	3	4	5
Coefficient K Cuivre.	0,29	0,29	0,28	—	0,28
Coefficient K Nickel.	0,30	0,31	0,30	0,30	0,32

b) Des mesures comparées dans l'air et CO^2 ont donné des résultats à peu près identiques ; le rapport des valeurs étant voisin de 1,5.

c) Enfin si l'on recouvre les lames de ces métaux de feuilles d'aluminium, les courants d'ionisation que l'on obtient sont inférieurs à ceux que donne l'aluminium, on ne peut donc rien en conclure.

12. Discussion des résultats ; détermination plus précise des coefficients d'absorption. — En résumé les radiations émises par les divers métaux se différencient nettement par leurs coefficients d'absorption dans l'air ; c'est l'étain et le plomb qui émettent les radiations les plus absorbables (coefficients variant de 0,5 à 1), puis viennent le cuivre et le nickel (0,2 à 0,3) le zinc, l'aluminium et le fer (0,15 à 0,20) ; ce sont donc ces trois derniers métaux qui émettent les radiations les

plus pénétrantes. On remarquera que c'est pour eux que l'on a trouvé que les valeurs de K croissent quand la distance au métal augmente, c'est là une anomalie que l'on ne peut expliquer que par l'insuffisance de l'anneau de garde; l'équation fondamentale est alors inexacte, il faut y ajouter un terme de la forme $R'Lx e^{-kd}Sx$. L représentant la longueur du pourtour de l'enveloppe métallique du condensateur, S la surface de l'armature AB, x la distance séparant les deux armatures et d la largeur de l'anneau de garde. Quand x augmente la courbe représentative tend non vers une droite, mais vers un arc de parabole très tendu, en remplaçant cet arc de parabole par une droite dans l'analyse qui nous permet le calcul de K , nous obtenons des valeurs trop faibles quand x est petit et trop fortes quand x est grand, d'où l'anomalie constatée; en conséquence les valeurs de K correspondantes aux distances moyennes paraissent être celles qu'il faudrait adopter pour les coefficients d'absorption.

Une deuxième correction provient du fait que les radiations émises par le métal, qui appartiennent, comme nous allons voir aux rayons X mous, sont susceptibles de provoquer quand elles atteignent une surface métallique une émission de rayons secondaires, qui viennent à leur tour ioniser le gaz; il s'ensuit que pour x petit il s'introduira une erreur systématique ayant, elle aussi, pour effet de donner des coefficients d'absorption plus petits qu'ils ne sont en réalité: les intensités de courant données par l'expérience et qui interviennent dans le calcul de K devraient être diminuées d'une quantité (correspondante à la partie du rayonnement qui est transformée en rayons secondaires) d'autant plus grande que x est plus petit, ce qui aurait pour effet d'augmenter les valeurs de K . Les remarques nous amènent donc à retenir les valeurs des coefficients d'absorption obtenues pour les grandes distances.

Une troisième correction résulte de la critique générale que l'on peut faire à la méthode de détermination des

coefficients d'absorption, elle est relative à l'obliquité des rayons émis par les divers points de la surface métallique. Si les rayons étaient tous normaux aux lames formant les armatures du condensateur, l'intensité du courant d'ionisation serait liée à la distance x qui sépare ces armatures par une relation de la forme $I = I_0 e^{-kx}$ qui permet une facile détermination de K . Mais d'un point M du métal part un cône de rayons largement ouvert qui ionise l'air compris entre AB et CD (figure 11). Si l'intensité d'émission est la même dans toutes les directions et si sa valeur par unité d'angle solide est A_0 , les rayons dont l'inclinaison sur l'axe Mx varie entre θ et $\theta + d\theta$ transportent une énergie $2\pi A_0 \sin \theta . d\theta$ et la fraction de cette intensité qui n'est pas utilisée pour ioniser le gaz entre les plateaux a pour valeur :

$$I = 2\pi A_0 \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\frac{K'x}{\cos \theta}} \sin \theta . d\theta$$

qui remplace la formule $I = I_0 e^{-kx}$ de notre théorie approchée dans laquelle $I_0 = 2\pi A_0$.

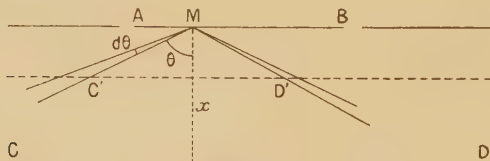


Fig. 11.

Il en résulte qu'entre les valeurs approchées des coefficients K que nous avons déterminées et les valeurs plus exactes K' que nous désirons obtenir il existe la relation :

$$e^{-kx} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-\frac{K'x}{\cos \theta}} \sin \theta . d\theta$$

En posant $u = \frac{K'x}{\cos \theta}$ et en intégrant par parties on obtient :

$$e^{-Kx} = e^{-K'x} + K'x \int_{\infty}^{K'x} \frac{e^{-u}}{u} du$$

L'expression $\int_{\infty}^{K'x} \frac{e^{-u}}{u} du$ n'est pas intégrable, mais elle peut être calculée au moyen d'une table d'exponentielles intégrales. Il suffit donc de calculer les valeurs corrigées K' qui correspondent aux valeurs K du coefficient d'absorption données par l'application de la formule approchée.

Le calcul donne le tableau de correspondance suivant :

Kx .	0,324	0,553	0,940	1,287	1,908	2,608	3,314
$K'x$.	0,1	0,2	0,4	0,6	1	1,5	2

Il est facile soit en construisant une courbe soit en serrant davantage les données de déduire les valeurs de K' correspondant à celles de K . Prenons par exemple le cas de l'étain, on obtient :

x	1	2	3	4
—	—	—	—	—
K .	1,06	0,91	0,78	0,76
Kx .	1,06	1,82	2,34	3,04
$K'x$.	0,47	0,94	1,31	1,80
K' .	0,47	0,47	0,44	0,45

La valeur trouvée est presque constante et semble indiquer que l'on a à faire à une bande de radiations assez étroite.

Si au contraire on prend le cas du fer dont le rayonnement paraît plus pénétrant et auquel les critiques indiquées plus haut s'appliquent davantage on obtient :

x	1	2	4	7
—	—	—	—	—
K .	0,16	0,16	0,18	0,22
Kx .	0,16	0,32	0,72	1,54
$K'x$.	0,03	0,1	0,285	0,76
K' .	0,03	0,05	0,071	0,108

On voit que, conformément à ce que nous avons indiqué à propos des critiques faites plus haut, les valeurs de K et par suite celles de K' sont manifestement trop faibles quand x est petit. En conséquence, pour caractériser le rayonnement émis par chacun des métaux nous prendrons les valeurs de K' correspondant aux distances x les plus grandes.

13. Longueur d'onde des radiations émises par les divers métaux. — En général, dans le domaine intermédiaire, les relations existant entre les longueurs d'onde et les coefficients d'absorption ne sont pas toujours bien certaines ; on peut, comme le fait G. Dechêne (16) construire une courbe de correspondance en utilisant les rares résultats expérimentaux et les formules théoriques qui ont été donnés pour les radiations de ce domaine. Il se trouve que dans la région qui nous intéresse l'expérience a donné des résultats suffisants pour que le problème de la correspondance entre les coefficients d'absorption dans l'air et les longueurs d'onde puisse être considéré comme résolu et pour que nous puissions sans trop d'ambiguïté déterminer les longueurs d'onde. On trouve dans un article de G. Spencer (*Physical Review*, 38, déc. 1931) les valeurs suivantes :

(Å)	$\frac{K}{\rho}$ (air) et auteur	
1 537	9,54	Spencer
2 284	29,3	id.
4 145	168	id.
6 973	747	id.
	9,49	Crowther
	31,8	Woernle
	163,4	id.
	740	id.

Les coefficients K' que l'on a trouvés varient entre 0,5 et 0,1 et les valeurs $\frac{K'}{\rho}$ correspondantes entre 386 et 77,3, on se trouve donc bien dans la région correspondant à ce tableau, on peut par suite déduire avec assez de précision les valeurs

de λ qui correspondent aux diverses radiations émises par les métaux.

On obtient ainsi :

Métal	K	x	K'	(A')	(A)
Sn . . .	0,76	4	0,45	5,5	2,55
Pb . . .	0,55	4	0,30	4,6	1,85
Fe . . .	0,22	7	0,11	3,3	
Zn . . .	0,20	6	0,09	3,1	
Al . . .	0,21	6	0,10	3,2	
Cu . . .	0,28	5	0,134	3,5	
Ni . . .	0,32	5	0,16	3,8	

Les valeurs indiquées pour l'étain et le plomb dans la dernière colonne sont celles que l'on a déduites du coefficient d'absorption par l'aluminium de la partie pénétrante du rayonnement.

14. Conclusion. — Il résulte de l'étude qui précède que tout se passe comme si les métaux ordinaires émettaient, en plus des radiations pénétrantes correspondant aux gerbes et aux transformations atomiques dont l'étude du rayonnement cosmique a révélé la production discontinue, un fond continu de radiations absorbables formé de bandes assez étroites et se situant dans la région des rayons X mous.

DEUXIÈME PARTIE

ACTION DES MÉTAUX SUR LA PLAQUE PHOTOGRAPHIQUE

I. — Historique.

1. Dans une note parue aux *C. R. de l'Académie des Sciences*, R. Colson (17) indiquait que certains métaux (zinc, magnésium, cadmium) avaient la propriété d'impressionner à distance la plaque photographique.

Cette action fut étudiée par Russell. Dans un premier travail (18) il montra qu'en plus du zinc, du magnésium et du cadmium, un assez grand nombre de métaux possédaient la même propriété; il les classait à ce point de vue dans l'ordre suivant : magnésium, cadmium, zinc, nickel, aluminium, plomb, bismuth, cobalt, antimoine. Le cuivre agissait très légèrement; le fer, l'or et le platine étaient sans action. Le mercure que Russell plaçait tout d'abord en tête de métaux fut plus tard reconnu inactif quand il est pur. Certains alliages, comme celui de plomb-bismuth-étain, sont actifs.

Tous ces résultats nécessitaient des poses d'environ une semaine. Des expériences comparées faites en atmosphère humide et sèche ne donnèrent pas de différence appréciable, de sorte que Russell conclut tout d'abord que la vapeur d'eau ne paraît pas être un agent actif dans la production de ces actions (*a*). Dans une atmosphère d'hydrogène ou de gaz carbonique l'action était de même ordre que celle que l'on a dans l'air (*a*).

Une élévation de température augmente beaucoup l'action du zinc et du nickel, mais semble diminuer celle de l'aluminium.

Les impressions se produisent à distance et à travers un certain nombre de substances solides : celluloïd, gélatine, gutta-percha, collodion, parchemin, baudruche, papier à dessin, carton..., etc. L'action ne traverse pas le verre mince, le gypse, la gomme arabique en couche mince, la paraffine (sauf en très faible épaisseur). Des papiers, trempés dans des solutions de divers sels (alun, bichromate de potasse, sulfate de zinc, sulfate de quinine), puis séchés, sont opaques. Une mince couche d'eau sur le métal arrête toute action (a).

Dans un deuxième travail (19) Russell établit que l'agent d'action est l'eau oxygénée, dont la plaque photographique se révèle comme un détecteur très sensible ($\frac{1}{10^6}$).

Il montre que les particularités présentées par les métaux peuvent être obtenues avec de l'eau oxygénée. Des corps inactifs (papier, plâtre...) trempés dans l'eau oxygénée, puis séchés, restent actifs pendant un certain temps. D'autre part leur action traverse la gélatine, le celluloïd, etc...

Un deuxième argument en faveur de cette hypothèse consiste dans le fait que d'après Russell, l'ordre dans lequel les métaux produiraient H^2O^2 serait précisément le même que celui de leur action sur la plaque, les métaux inactifs à la plaque ne donnant pas d'eau oxygénée.

Un troisième argument, c'est qu'en atmosphère humide l'action est plus prononcée qu'en atmosphère sèche (b); en faisant passer sur du zinc un courant d'air chaud et humide, on obtient une action plus forte qu'avec de l'air sec.

(a) En contradiction avec l'hypothèse faite par Russell dans son deuxième travail (Voir plus loin).

(b) En contradiction avec ce que dit Russell dans son premier mémoire avant d'avoir formulé son hypothèse.

Pour expliquer que des vapeurs d'eau oxygénée puissent traverser des écrans de collodion ou de gélatine, Russell suppose qu'il se produit une dissolution de H^2O^2 dans ces substances : des lames de gélatine ou de collodion, placées entre un récipient contenant H^2O^2 et une plaque sensible, laissent en effet passer l'action d'autant plus facilement qu'elles ont été préalablement exposées pendant plus longtemps aux vapeurs d'eau oxygénée : il semble que ces substances se saturent de vapeurs et que cette saturation facilite l'action. Le passage à travers la gélatine se ferait donc par l'intermédiaire de l'eau et comme nouvel argument en faveur de cette hypothèse, Russell signale que le carton mouillé est beaucoup plus facilement traversé que le carton sec (*b*), il fait d'ailleurs ensuite remarquer que cette dernière expérience ne prouve pas grand chose puisque la présence de l'eau apportée par le carton mouillé peut augmenter la proportion d'eau oxygénée produite. Dans le cas des substances, comme le celluloïd où l'on ne peut parler de dissolution dans l'eau, Russell suppose qu'il y a combinaison de H^2O^2 avec l'un des constituants de la substance ; dans le cas du celluloïd, c'est le camphre qui interviendrait : un morceau de camphre placé au-dessus d'une solution à 2 o/o d'eau oxygénée pendant 17 heures devient en effet actif à la plaque.

La paraffine qui ne se laisse pas traverser par l'eau oxygénée arrête l'action photographique.

En résumé, il y aurait, autour des métaux formation d'eau oxygénée qui serait l'agent d'action sur la plaque photographique. Cette explication est fort plausible ; il est incontestable que la plaque est très sensible à l'action des vapeurs de

(*b*) Dans son premier travail, Russell indique qu'une mince couche d'eau sur le métal arrête toute action et qu'une lame suffisamment mince de paraffine la laisse passer ; ce que nous avons pu nous-même vérifier.

H^2O^2 , d'autre part cette dernière action présente de grandes analogies avec celle des lames métalliques.

L'hypothèse de Russel explique assez bien certains des résultats que donnent ses expériences qualitatives.

2. **Hypothèses sur la formation de H^2O^2 au contact des métaux.** — Il y a formation d'eau oxygénée quand on met un certain nombre de métaux en contact avec de l'eau acidulée, basique ou neutre; aussi peut-on admettre qu'il y a également formation de ce composé au contact de ces mêmes métaux et d'air humide, mais cette dernière formation peut paraître assez suprenante puisque, d'une part les métaux sont des corps réducteurs et que d'autre part l'eau est par elle-même très difficilement oxydable même par des oxydants énergiques (ozone, permanganate, etc.) d'ailleurs H^2O^2 a une tendance marquée à se détruire sous l'action de ces oxydants. Aussi les chimistes ne paraissent pas d'accord pour expliquer cette formation : pour les uns ce serait de l'*oxygène atomique* qui s'unirait à H^2O pour donner H^2O^2 , pour les autres au contraire le métal agissant sur l'eau produirait de l'*hydrogène actif* qui s'unissant à l'oxygène de l'air donnerait H^2O^2 . Dans la deuxième hypothèse qui paraît plus vraisemblable que la première, les métaux devraient, semble-t-il, se classer au point de vue de cette formation suivant leur plus ou moins grande facilité de décomposition de l'eau; les métaux alcalins et leurs amalgames devraient être en tête et si l'on admet l'hypothèse de Russel ils devraient agir fortement sur la plaque, or l'expérience montre le contraire.

Enfin il est une troisième hypothèse possible qui ne semble pas avoir été envisagée et à laquelle nous ferons jouer un rôle important pour expliquer l'ensemble des résultats que nous avons obtenus.

Il a été démontré que sous l'action de radiations ultraviolettes ou du rayonnement émis par l'étincelle(22) il se forme dans l'air humide de l'eau oxygénée; celle-ci pourrait donc

être simplement produite, dans l'atmosphère humide environnant un métal, par le rayonnement émis par ce dernier, rayonnement dont nous avons montré l'existence et la nature dans la première partie de ce travail.

3. Objections à l'hypothèse de Russell. — L'argumentation de Russell pour étayer son hypothèse est basée sur des raisonnements par analogie. Or le fait que l'action de l'eau oxygénée présente qualitativement de grandes analogies avec celle que produit une lame de zinc n'est pas un argument décisif; une substance phosphorescente ou luminescente qui émettrait un rayonnement très absorbable capable d'exciter les éléments de l'atmosphère ou des corps environnants présenterait, elle aussi, avec la lame de grandes analogies d'action.

En plus de cette critique générale et de celle qui résulte des quelques divergences que Russell a obtenues dans ses travaux successifs, on peut faire à ses principaux arguments les objections précises suivantes.

L'ordre d'activité photographique des métaux ne correspond pas aussi bien que semble le dire Russell à celui que présentent ces mêmes métaux pour la formation de l'eau oxygénée. Dans les traités de Chimie le zinc et ses amalgames se placent à côté du plomb et du palladium quand il s'agit de formation de H^2O^2 par oxydation lente à l'air humide. Le cuivre, qui agit très peu sur la plaque, donne, comme le magnésium, l'étain ou l'aluminium, de l'eau oxygénée au contact de solutions basiques ou acides. Russell a trouvé que dans une atmosphère d'hydrogène ou de gaz carbonique, l'action est aussi vive (?) que dans l'air et Colson a indiqué que dans le vide (?) elle se produit comme à la pression ordinaire : ces résultats s'expliquent mal dans l'hypothèse d'une action de H^2O^2 puisque sa formation nécessite la présence, dans le voisinage du métal, d'oxygène et de vapeur d'eau.

Enfin s'il se produit une dissolution ou une combinaison

de H^2O^2 lors du passage de l'action à travers certaines substances (gélatine, collodion, celluloid) on comprend mal que les impressions sur la plaque à travers ces écrans se présentent avec une grande netteté de contour et Russell insiste particulièrement sur cette netteté, car pendant des poses de plusieurs jours, la dissolution ou la combinaison devrait de proche en proche envahir toute une masse de l'écran et donner des impressions à bords de plus en plus flous.

4. Conclusions. — Sans adopter ni rejeter *a priori* l'hypothèse de Russell, nous reprendrons ses expériences en les étendant à tous les métaux et en les complétant par la mise en action de moyens différents ou l'emploi de plaques plus sensibles. En outre, nous essaierons de faire une étude quantitative photométrique des actions sur la plaque et de comparer ainsi les impressions obtenues avec les divers métaux.

II. — Etude qualitative.

1. Action d'un métal sur la plaque ; choix des plaques. — L'action photographique exercée par certains métaux est très facile à mettre en évidence : il suffit, par exemple, de prendre une lame de zinc nettoyée à la toile émeri et de la placer au-dessus d'une plaque sensible, on obtient une impression pour des poses assez courtes (24 heures).

Cette action présente les mêmes caractères que si elle était produite par des radiations électromagnétiques : il n'y a pas apparence de changement dans l'aspect de la plaque, l'*image latente* est révélée par les procédés photographiques ordinaires. Il s'agit naturellement d'action à distance ; celle-ci ne doit cependant pas être trop grande. Pour des poses de 24 heures l'action est très nette à quelques dixièmes de millimètres, elle est observable à des distances de plusieurs cen-

timètres, mais les poses doivent alors être beaucoup plus longues (une ou plusieurs semaines).

La grandeur de l'action varie considérablement avec la nature des plaques ; ce sont celles, dont la sensibilité aux rayons violets ou ultraviolets est donnée comme particulièrement grande, qui se sont montrées les plus sensibles à l'action des métaux. Nous avons utilisé successivement des plaques Lumière Sigma, puis des Opta plus sensibles que les précédentes, ensuite des Guillemot Fulgur qui ont montré la sensibilité optima pour ce genre d'actions. Les plaques Super Opta et Super Fulgur que les Maisons Lumière et Guillemot ont lancé postérieurement aux Opta et aux Fulgur se sont montrées pour cette étude beaucoup moins sensibles que ces dernières, cela tient probablement au sel orthochromatisant qui a été ajouté aux premières. Les résultats indiqués dans ce travail ont été obtenus avec des plaques Guillemot Fulgur qui donnent au bout de quelques heures de pose ce que les plaques ordinaires ne révèlent souvent qu'au bout de plusieurs jours, nous avons pu ainsi abréger considérablement les poses et montrer la généralité du phénomène.

2. Influence du temps de pose. Courbes de noircissement. — Pour voir l'influence du temps de pose, on fait agir sur une même plaque, pendant des temps différents, une lame de zinc préalablement nettoyée avant chaque pose. La plaque et la lame sont séparées par une lamelle de mica de 2/10 de millimètre d'épaisseur portant 4 fenêtres ; pour chaque pose on porte au-dessus de l'une des fenêtres la même partie de la lame métallique préalablement nettoyée dans des conditions autant que possible identiques ; on obtient ainsi, après développement 4 plages juxtaposées dont on détermine les densités photométriques ; quoique leurs valeurs ne puissent par elles-mêmes nous renseigner de manière absolue sur l'énergie mise en jeu dans l'action sur la plaque, nous utiliserons en géné-

ral ce mode d'indication pour éviter la reproduction de clichés. Nous donnerons ainsi des renseignements qualitatifs plus précis que ceux qu'a indiqués Russell.

Voici ce qu'a donné une série de 3 expériences :

Pose (heures). Densité. . .	1 0,44	2 0,55	3 0,48	4 0,59	Fond de plaque 0,30
Pose (heures). Densité. . .	8 1,05	16 1,82	24 2,08	48 2,18	Fond de plaque 0,34
Pose (heures). Densité. . .	24 2,01	48 2,5	72 2,96	96 3,00	Fond de plaque 0,38

On voit qu'avec l'augmentation du temps de pose, la densité croît en tendant vers une valeur limite, on voit aussi combien, pour une même pose, les résultats peuvent varier dans des conditions d'expérience en apparence identiques.

Si on construit une courbe en portant en abscisses les logarithmes des temps de pose et en ordonnées les valeurs correspondantes de la densité, on obtient une courbe dont la forme rappelle celle des *courbes de noircissement* que donnent les radiations électromagnétiques dans leur action sur la plaque (voir fig. 13). Nous essaierons plus loin de construire ces courbes avec plus de soin et de les utiliser pour faire une étude quantitative du phénomène. Leur allure montre l'importance considérable du temps de pose : pour comparer dans les conditions les plus favorables l'action d'un même métal dans diverses circonstances ou de plusieurs métaux dans les mêmes conditions, il faudra utiliser des poses correspondant à la partie rectiligne de la courbe : avec des plaques Fulgur cela donne pour le zinc des poses de 12 à 24 heures.

3. **Fatigue du métal.** — L'action produite par certains métaux, comme le zinc, le magnésium ou le cadmium est

d'abord assez vive, puis elle diminue à mesure que le temps s'écoule ; tout se passe comme s'il y avait fatigue.

Pour le montrer, il suffit de faire agir le métal en des points différents d'une même plaque, pendant des poses identiques, mais à diverses époques à partir du nettoyage initial.

La lame métallique est, comme tout à l'heure, séparée de la plaque sensible par une lamelle de mica percée de 4 fenêtres, on la place successivement sur chacune d'elles pendant un temps déterminé, on obtient ainsi des impressions de moins en moins fortes.

Par exemple une lame de zinc a donné, pour une pose de 4 heures, les valeurs suivantes :

Temps écoulé depuis le nettoyage (heures)	0	20	48	72	Fond de plaque
Densité	0,95	0,44	0,46	0,44	0,22

Un nettoyage de la surface de la lame lui donne à nouveau une grande activité ; l'altération de la surface joue donc un rôle essentiel dans la production de la fatigue ; aussi est-il naturel de penser que la fatigue est due à la couche d'oxyde qui se forme superficiellement. Nous verrons plus loin qu'en opérant dans le vide cathodique ou dans un gaz inerte, comme l'azote ou l'hydrogène, dans lesquels l'altération de la surface est insignifiante, on constate que la fatigue est très lente.

Etant donné l'importance du rôle joué dans l'action photographique par l'état de la surface du métal, on conçoit que la manière dont cette surface a été nettoyée intervienne fortement. Ainsi des lames de zinc, provenant d'un même échantillon, mais nettoyées avec des toiles émeri de grain différent,

donnent sur la même plaque après une pose de 24 heures les densités suivantes :

Numéro du grain de la toile émeri.	ooo	ooo	5	6	Fond
Densité. . .	1,26	1,3	1,94	1,92	0,45

Ces résultats montrent combien il est difficile, indépendamment des complications introduites par la couche sensible et par les conditions de développement, de comparer quantitativement les impressions produites par des métaux de nature différente.

4. Influence de la nature du métal. — *a)* Ce qui précède montre combien une classification des métaux d'après leur activité photographique présente d'arbitraire puisque l'action dépend : 1° de la manière dont la surface est nettoyée ; 2° de l'évolution particulière de la fatigue et par suite du temps de pose ; 3° des lois complexes du noircissement de l'émulsion photographique.

Sans attacher à cette classification l'importance qu'elle ne peut avoir, on peut cependant séparer les métaux en trois groupes : 1° ceux pour lesquels l'action se met aisément en évidence ⁽¹⁾ avec des poses n'excédant pas 24 heures, par exemple, le zinc, le magnésium, le cadmium et s'en rapprochant plus ou moins l'aluminium ; 2° ceux pour lesquels il faut des poses de plusieurs jours, comme le nickel, l'étain, le plomb, l'antimoine, le chrome, le manganèse ; 3° ceux qui ne produisent d'effet qu'après de très longues poses (une ou plusieurs semaines) c'est le cas du fer, du cobalt, du bismuth,

(1) Avec des plaques Guilleminot-Fulgur.

du tellure, du thallium, du sélénium, de l'arsenic, du carbone, de l'argent, du cuivre, et d'une manière générale de tous les métaux que nous avons essayés.

b) Pour comparer entre eux les divers métaux, on les fait agir par groupes de 4 ou 6 sur une même plaque pendant un temps déterminé. On est ainsi sûr que les conditions expérimentales sont identiques.

La plaque et la lame agissante étant séparées par une distance de 1/10 de millimètre et la pose de 24 heures, les métaux du premier groupe donnent les valeurs suivantes :

Expérience 1.

Métal agissant	Mg pur	Zn	Ni	Sn	Fond
Densité. . .	2,01	1,83	0,91	0,70	0,5

Expérience 2.

Métal agissant	Zn	Cd	Alliage Mg	Ni	Fond
Densité. . .	2,19	2,05	1,14	0,74	0,41

On voit que magnésium, zinc, cadmium se mettent nettement à part et semblent se classer dans cet ordre.

Expérience 3.

Métal agissant	Zn	Cd	Alliage Mg	Al	Sn	Fond
Densité. . .	1,52	1,35	0,92	0,80	0,74	0,58

On remarquera combien sont différentes les valeurs trouvées pour un même métal dans des conditions expérimentales en apparence identiques ; l'aluminium que l'on a rattaché à ce premier groupe se différencie assez nettement des trois autres métaux et pourrait servir de transition avec le groupe suivant.

La distance séparant la lame et la plaque restant la même, mais la durée de pose étant portée à une semaine, on a trouvé :

Métal .	Al	Sn ₁	Pb	Laiton	Bi	Fe	Fond
Densité	1,54	1,18	0,98	0,88	0,7	0,66	0,56

Dans les mêmes conditions, mais avec une durée de pose de deux semaines, on obtient :

Métal .	Al	Ni	Sn ₂	Pb	Sb	Bi	Fond
Densité	2,67	1,32	1,04	1,02	0,99	0,67	0,51

Dans les mêmes conditions expérimentales, la pose étant toujours de deux semaines, on obtient encore :

Métal. . .	Pb	Alliage Si/Fe	Co	Bi	Cr	Fond
Densité . .	1,66	0,88	0,72	0,65	0,59	0,51

La comparaison du fer et du cobalt, dans les conditions de l'expérience précédente, donne :

Métal. . . .	Fe	Co	Fond
Densité . . .	0,57	0,59	0,38

Si l'on place ces métaux dans un deuxième groupe, les résultats qui précèdent les y rangeraient dans l'ordre suivant :

Al Ni Sn Pb Sb Co Bi Cr Fe

Soulignons le peu de valeur de pareilles classifications. Des lames de métal provenant d'échantillons différents donnent des valeurs notablement différentes. Si l'on joint à cela la grande influence exercée par le nettoyage de la surface, ainsi que celle qui est produite comme nous verrons plus loin, par des traces d'impuretés ou par un changement physique (écrouissage), on conçoit, même en ne tenant aucun compte des complexités dues au noircissement de la plaque, combien fragile est l'argument de Russell disant que les métaux présentent dans leur action sur la plaque, le même ordre que dans la production de l'eau oxygénée.

Quoi qu'il en soit de la valeur de ces classifications, on peut dire qu'avec des durées de pose de plusieurs semaines, tous les métaux donnent des impressions sur la plaque photographique ; quelquefois comme cela nous est arrivé avec le mercure et le platine ces impressions nettement visibles à l'œil, ne sont pas suffisamment prononcées pour que la mesure de leur opacité puisse se faire avec une précision suffisante.

Voici les résultats obtenus avec divers métaux.

Métal.	Mn	Tl	Ti	Au	Pd	Ta	Ag	Cu	Cu amal- gamé	Hg	Pt
Pose (jours)	15	15	15	15	8	15	35	21	21	15	15
Densité	0,69	0,53	0,36	0,39	0,36	0,48	1,01	0,46	0,47	Traces	Traces
Fond.	0,26	0,41	0,26	0,29	0,29	0,44	0,96	0,41	0,41	Traces	Traces

Il convient d'ajouter à ces métaux les métalloïdes suivants :

Métalloïde .	Si	Se	Te	S	C (charbon de cornues)
Pose (jours).	15	15	20	35	35
Densité . . .	0,81	0,505	0,41	1,08	1,05
Fond . . .	0,41	0,41	0,36	0,92	0,96

Nous arrivons donc à la conclusion que, sur la plaque photographique comme sur l'électromètre tous les métaux produisent une action.

c) Cette action n'a d'ailleurs rien de bien surprenant ; nous avons vu dans la première partie de ce travail, que dans le voisinage d'un métal quelconque, il y a par seconde et par centimètre cube production de plusieurs dizaines d'ions, dus soit au rayonnement cosmique, soit aux radiations provenant des corps radioactifs qui se trouvent dans le voisinage plus ou moins immédiat des appareils, soit encore aux radiations secondaires émises par le métal sous l'influence de l'un ou l'autre des deux rayonnements précédents.

Admettons pour ce nombre d'ions la valeur 50, cela donne par jour environ $4,3 \cdot 10^6$ ions par centimètre cube et dans une semaine $3 \cdot 10^7$, ce dernier nombre représente la quantité d'ions produits par centimètre cube et pendant quelques secondes par un faisceau de rayons X d'intensité et de pénétration moyennes. L'énergie correspondante à une pareille ionisation serait donc suffisante pour produire une impression sur la plaque photographique ; il faut cependant reconnaître que les radiations émises par les métaux sont peu pénétrantes et que, par suite, il est possible que leur action sur la plaque ne puisse se comparer, à énergie égale, à celle que produisent des rayons X ordinaires.

Quant aux métaux comme le magnésium, le zinc ou le cadmium dont l'impression est très nette au bout de quelques heures de pose, il est naturel d'admettre que leur action est renforcée soit parce qu'ils émettent un rayonnement secon-

daire particulièrement intense (mais dans ce cas on devrait, semble-t-il, observer un nombre d'ions anormalement élevé dans leur voisinage, ce que l'expérience ne confirme pas) soit plutôt parce qu'il se produit un composé dont l'action secondaire vient augmenter l'impression : ce composé d'après Russell serait l'eau oxygénée. Nous discuterons plus loin ce dernier point de vue.

d) Les métaux peu actifs comme le mercure, le cuivre ou l'argent produisent une impression photographique plus forte quand ils sont alliés à un métal plus actif. Ainsi le laiton (Cu/Zn) donne sur la plaque et dans des conditions identiques un excès de densité sur le fond (0,32) supérieur à celui que donne le bismuth ou le fer (0,14) tandis que l'impression produite par le cuivre pur au bout de plusieurs semaines est presque insignifiante (0,05).

Le mercure pur est peu actif, tandis que le zinc amalgamé et le mercure contenant du zinc en dissolution sont fortement actifs. Par exemple si l'on dissout dans 200 g. de mercure des quantités de zinc croissantes on obtient, pour des poses de 24 heures la série de valeurs suivantes :

Quantité de zinc dissoute (grammes)	0	0,001	0,01	0,1	0,5
Densité } 1 ^{re} exp . .	Traces	2,05	2,46	2,62	2,44
} 2 ^e exp. . .	Traces	1,85	2,24	2,27	2,07

On voit qu'il suffit de la présence de traces de zinc pour que l'impression soit aussi prononcée, si ce n'est plus, qu'avec le zinc lui-même et on ne peut guère rattacher d'aussi fortes actions à une propriété spécifique des atomes de zinc puisque l'impression ne paraît pas augmenter proportionnellement aux quantités de métal dissoutes. Il est vrai qu'il se forme à la surface du mercure contenant du zinc une couche grise d'oxyde d'autant plus épaisse que la

concentration en Zn est plus grande, il est donc fort possible que l'augmentation liée à la richesse de la dissolution soit compensée par une diminution due à la fatigue du métal, puisque nous avons vu que cette fatigue est plus prononcée quand la couche d'oxyde formée est plus grande.

Le mercure contenant du plomb, du cadmium ou de l'étain donne des résultats analogues quoique moins prononcés, mais les amalgames de métaux peu actifs, comme le cuivre ou l'argent, ont une très faible action sur la plaque.

Russell, dans son premier travail, mettait le mercure en tête de tous les métaux au point de vue de l'action sur la plaque; il avait probablement eu à faire à du mercure contenant des traces de zinc. Il a annoncé plus tard que le mercure pur est inactif et a proposé d'employer la plaque photographique pour s'assurer de l'état de pureté de ce corps. Il faut remarquer que l'inactivité ou la faible activité photographique du mercure constitue une condition nécessaire de sa pureté, mais cette condition n'est pas suffisante, car ce métal peut être inactif et contenir cependant des impuretés comme le cuivre et l'argent.

On a vu qu'à partir d'une certaine concentration l'impression photographique varie peu avec la richesse de la dissolution du zinc dans le mercure, il n'y a donc pas additivité. Malgré cette absence d'additivité, on peut utiliser ce qui précède pour faire l'essai photographique des métaux alcalins ou alcalino-terreux qu'il est difficile d'étudier directement à cause de leur altérabilité; l'emploi de leurs amalgames montre que le potassium, le sodium et le calcium sont peu actifs.

Cette influence de faibles traces d'impureté sur l'activité photographique fait comprendre pourquoi l'action sur la plaque varie suivant les divers échantillons que l'on utilise. Elle explique aussi les résultats des expériences suivantes, dans lesquelles les impuretés se trouvent à l'état de traces

telles qu'on ne peut les déceler par les procédés de l'analyse chimique.

On prend une lame de zinc et on la coupe en deux parties A et B ; on chauffe A pendant quelques heures vers 200° dans un four électrique contenant quelques copeaux de cuivre, la partie B qui joue le rôle de témoin est laissée dans les conditions ordinaires de température. Les deux lames dont les apparences n'ont point changé sont après nettoyage portées au-dessus d'une même plaque photographique, pendant 24 heures, on constate que A est moins active que B.

	Partie A	Partie B	Fond de plaque
Densité . . .	1,47	1,57	0,34

Ces résultats s'expliquent facilement si l'on admet que des traces de vapeurs de cuivre se sont alliées au zinc de A.

Si au lieu de chauffer A au four électrique on la chauffe dans la flamme un peu fuligineuse d'un bunsen, on constate que c'est l'inverse qui se produit, après le chauffage et malgré des nettoyages successifs la partie A se trouve plus active que la partie B.

	Partie A	Partie B	Fond de plaque
Densité . . .	1,04	0,69	0,34

Cette augmentation de l'activité de la partie chauffée est due à la présence de traces de carbone qui se sont incorporées à la lame de zinc (Voir plus loin l'action renforçatrice du carbone).

5. Influence de l'état physique du métal. — D'après Russell, pour que le métal agisse, il faut non seulement que la sur-

face soit parfaitement propre, mais encore rugueuse ; une surface brillante et polie n'agirait pas, au contraire une surface métallique, rendue brillante mais rugueuse par l'emploi de toile émeri à gros grains serait très active. On a vu plus haut que des lames de zinc, nettoyées avec des toiles émeri de grain différent, donnent en effet une impression plus accusée quand le grain est plus gros. Il conviendrait toutefois d'être moins catégorique que ne l'est Russell, des lames de zinc ou de cadmium quoique parfaitement polies, agissent très nettement sur la plaque.

Les métaux en poudre agissent également sur la plaque ; quelques métaux, comme le zinc, sont plus actifs sous forme pulvérulente que sous forme laminée, mais en général (aluminium, magnésium, fer, carbone...) l'action est moins vive avec des métaux en poudre ou en limaille qu'avec des lames. Si l'on fait agir pendant 24 heures sur des plaques différentes d'une même plaque des échantillons des trois métaux : zinc, magnésium, aluminium, pris sous forme de poudre et de lame, on obtient les valeurs suivantes.

	Zinc		Magnésium		Aluminium		Fond de plaque
	poudre	lame	poudre	lame	poudre	lame	
Densité.	3,69	3,48	0,53	2,12	0,40	1,25	0,39

Si l'activité photographique était uniquement liée à une action de surface, comme ce serait le cas s'il y avait, ainsi que le veut l'hypothèse de Russell, une simple formation d'eau oxygénée venant ensuite agir sur la plaque, il semble que l'impression devrait être plus forte avec les poudres qu'avec les lames, puisque dans le premier cas la surface agissante est plus grande.

On trouve aussi que l'action est moins prononcée avec les

limailles métalliques qu'avec les lames, quoique la surface active soit plus grande dans le premier cas que dans le deuxième ; c'est ce qu'il est facile de constater avec le cadmium, le nickel, le bismuth, l'aluminium et même avec le zinc.

Il est à remarquer que dans ces derniers cas, la lime a pu produire l'écrouissage du métal, or un métal écroui est beaucoup moins actif que lorsqu'il n'a subi aucune modification physique. On le montre aisément de la manière suivante : on nettoie soigneusement à la toile émeri une lame de zinc, on y dessine des caractères quelconques, une croix par exemple, et on gratte avec une pointe la surface de la croix, quand on fait agir la lame sur une plaque sensible, on constate que la partie grattée ne produit aucune action ; sa surface était parfaitement propre et se trouvait sensiblement à la même distance de la plaque que le reste de la lame.

On peut faire la même expérience avec divers métaux. Pour les comparer à ce point de vue, on fait agir simultanément sur une même plaque, à travers 4 fenêtres percées dans une lame de mica, des lames de divers métaux dont une moitié seulement a été grattée ; on obtient les résultats suivants.

Expérience 1. — Pose 22 heures. Distance $2/10$ de millimètre.

	Zinc		Magnésium		Cadmium		Nickel		Fond de plaque
	nature	écroui	nat.	écr.	nat.	écr.	nat.	écr.	
Densité.	1,90	0,88	1,52	1,55	1,35	0,82	1,1	0,77	0,25

Expérience 2. — Pose 1 semaine. Distance 2/10 de millimètre.

	Aluminium		Nickel		Plomb		Étain		Fond de plaque
	nature	écroui	nat.	écr.	nat.	écr.	nat.	écr.	
Densité.	2,57	0,65	1,30	1,18	0,52	0,48	1,80	0,64	0,35

On voit que, à part le magnésium cette dernière particularité se présente avec une certaine généralité ; peut être est-ce à rapprocher du fait que les métaux les plus photographiquement actifs sont, en général, ceux dont la densité est la plus faible ; l'écrouissage, en augmentant la densité, diminuerait l'action.

6. Influence de la pression du gaz environnant. — Les expériences étaient disposées dans un récipient où la pression pouvait varier de la valeur normale au vide cathodique. On a obtenu avec le zinc et pour des poses de 24 heures les résultats suivants :

Pression (mm.).	. .	760	500	265	80	15	1/100
Densité		3,08	3,06	3,04	2,30	1,90	traces

On voit que l'action diminue avec la valeur de la pression, mais que cette diminution ne devient nette que lorsque la pression est inférieure à une dizaine de centimètres ; on conçoit qu'avec des vides imparfaits et des plaques peu sensibles exigeant des poses fort longues on ait pu annoncer que la pression n'intervenait pas dans le phénomène.

Le vide cathodique était obtenu au moyen d'une pompe moléculaire et pouvait être facilement maintenu à une valeur de 1/100 de millimètre pendant 24 ou 48 heures. Dans ce

vide l'action n'est plus mesurable au photomètre, quoique l'œil perçoive encore une faible impression sur la plaque. On pourrait peut-être attribuer cette faible action résiduelle au fait que l'installation de l'expérience (montage et démontage de l'appareil, établissement du vide) nécessite un certain laps de temps (une vingtaine de minutes au minimum) pendant lequel l'atmosphère environnant la lame et la plaque se trouve à une pression pour laquelle l'action photographique du métal n'est pas négligeable. Il n'est d'ailleurs pas impossible que, d'après ce que nous avons dit dans la première partie, il y ait action du métal sur la plaque, même dans le vide.

La présence de l'air ou de quelqu'un de ses constituants apparaît donc indispensable pour qu'on obtienne, sur la plaque photographique une action nettement accusée comme celles que produisent, dans les conditions ordinaires de pression le zinc, le magnésium, le cadmium ou l'aluminium.

Quant aux métaux qui produisent une faible action photographique, il ne semble pas que le vide apporte de grande modification à cette action ; il est vrai qu'il est difficile de réaliser et de maintenir pendant très longtemps un vide très poussé dans un récipient de volume aussi grand que celui dont nous disposons.

Il est à remarquer que, dans le vide où l'action photographique s'est montrée presque nulle, le métal éprouve une fatigue bien plus faible que dans l'air.

Par exemple si l'on fait agir comparativement sur la plaque des lames de zinc, dont l'une a été mise en action dans le vide et dont l'autre a agi dans l'air pendant le même temps, on obtient après une pose de 24 heures les valeurs suivantes :

	Lame après action dans			
	le vide	Fond	l'air	Fond
Densité	1,00	0,40	0,58	0,44

Ces résultats s'expliquent assez bien si l'on admet que la fatigue est due à la couche d'oxyde formée à la surface du métal.

7. Influence de la nature du gaz environnant. — Russell a essayé des atmosphères d'hydrogène et de gaz carbonique, il a indiqué que, dans ces gaz, l'action était du même ordre de grandeur que dans l'air à la pression ordinaire ; ces résultats seraient en contradiction avec son hypothèse d'une action uniquement due à l'eau oxygénée et comme il les passe sous silence lors de sa discussion, nous avons pensé utile de reprendre ces expériences en les complétant par l'emploi d'autres gaz.

Pour l'étude de ces actions comparées dans l'air et dans divers gaz l'expérience a toujours été conduite de la même façon : on prend deux lames d'un même échantillon de métal et on les fait agir pendant le même temps sur la plaque en plaçant l'une dans l'air, l'autre dans le gaz étudié. On développe ensuite dans le même bain.

a) *Actions comparées dans l'air et dans l'hydrogène.* — L'hydrogène fourni par un appareil continu est introduit dans un récipient en bronze (spectrographe) d'une dizaine de litres dans lequel a été fait un vide cathodique et dans lequel sont disposées la lame et la plaque étudiées. Le gaz est desséché en passant sur une colonne de plusieurs mètres contenant de la ponce sulfurique, du coton de verre saupoudré d'anhydride phosphorique et de la potasse calcinée. L'appar-

reil est vidé à plusieurs reprises et rempli chaque fois d'hydrogène.

Répétée avec les différents métaux l'expérience a donné des résultats analogues : dans l'hydrogène comme dans le vide l'action est presque nulle, en tout cas non mesurable au photomètre. La faible impression que l'œil aperçoit pouvant être produite pendant le temps nécessaire au montage et au démontage de l'expérience (demi-heure environ).

b) *Actions comparées dans l'air et le gaz carbonique.* — On a opéré soit avec du gaz fourni par un appareil continu soit avec du gaz provenant d'une bombe. Le gaz passait sur des colonnes desséchantes à ponce sulfurique et à anhydride phosphorique. L'appareil était vidé et rempli à plusieurs reprises.

Résultats obtenus avec le zinc (pose 24 heures) et l'étain (pose 48 heures) :

	Zinc				Étain			
	Air	Fond	CO ²	Fond	Air	Fond	CO ²	Fond
Densité .	1,02	0,60	0,79	0,60	0,93	0,59	0,71	0,62

On voit que l'action persiste fortement diminuée il est vrai dans le gaz carbonique ; l'oxygène et la vapeur d'eau ne paraissent donc pas indispensables, comme cela serait si l'eau oxygénée était seule en cause.

c) *Actions comparées dans l'air et dans l'azote.* — Le gaz provenait d'une bombe à azote : on le faisait barbotter dans du pyrogallol alcalin pour enlever les traces d'oxygène qu'il pouvait contenir, puis passer sur des colonnes desséchantes à ponce sulfurique, à anhydride phosphorique et à potasse calcinée.

Résultats obtenus avec le cadmium et le magnésium en poudre (pose 24 heures) :

	Cadmium				Magnésium			
	Air	Fond	Azote	Fond	Air	Fond	Azote	Fond
Densité .	1,09	0,40	0,63	0,42	0,88	0,53	0,64	0,63

Le zinc et l'aluminium ont donné, comme le cadmium, les résultats très nets ; l'action persiste donc dans l'azote, très amoindrie, il est vrai dans le cas du magnésium.

d) *Actions comparées dans l'air et dans l'oxygène.* — Le gaz était fourni par une bombe à oxygène ; il passait sur des colonnes desséchantes à ponce sulfurique, à anhydride phosphorique et à potasse fondue.

L'action est plus vive dans l'oxygène que dans l'air avec la plupart des métaux : zinc, cadmium, plomb, étain, nickel ; elle est au contraire moins vive avec le magnésium dans une atmosphère d'oxygène que dans l'air.

Résultats obtenus avec l'étain et le magnésium (pose 48 heures) :

	Étain				Magnésium			
	Air	Fond	Oxyg.	Fond	Air	Fond	Oxyg.	Fond
Densité .	0,73	0,62	0,82	0,47	0,72	0,50	0,60	0,59

Cette différence entre le magnésium et les autres métaux, sans être extrêmement forte, est cependant très nette et systématique ; on peut se demander, dans le cas où l'activité serait uniquement due à la formation d'eau oxygénée par

conséquent liée à l'oxydation de la surface, si l'oxydation superficielle du magnésium dans une atmosphère d'oxygène ne dépendrait pas de la pression de telle manière que, comme pour le phosphore, elle serait plus faible dans l'oxygène à la pression ordinaire que dans une atmosphère raréfiée de ce gaz. Pour le voir on a refait des expériences comparées sur l'action du magnésium dans l'oxygène à la pression ordinaire et à une pression de 19 cm. qui correspond à la pression partielle de l'oxygène dans l'air de l'atmosphère.

On constate que l'action reste la même à pression réduite qu'à la pression ordinaire, on ne peut donc faire intervenir la raréfaction de l'oxygène pour expliquer l'anomalie présentée par le magnésium. On pourrait aussi penser que ce dernier métal se fatigue plus vite dans l'oxygène que dans l'air et que, par suite, son action totale au bout de 24 heures se trouve plus faible dans le premier gaz que dans le deuxième ; or ce n'est pas ce que montre l'expérience. Si on examine la fatigue éprouvée par un métal quelconque après qu'il a été mis en action dans une atmosphère déterminée, on constate que la fatigue est d'autant plus faible que l'impression sur la plaque a été elle-même moins forte. Des métaux comme le zinc, le plomb, le nickel se fatiguent moins vite dans l'hydrogène, le gaz carbonique, ou l'azote que dans l'air ; ils se fatiguent plus vite au contraire dans l'oxygène. Le magnésium seul présente dans l'oxygène comme dans les autres gaz, une fatigue moins rapide que celle qu'il éprouve dans l'air.

Pour s'en rendre compte, il suffit, après qu'on a comparé l'action d'un métal dans l'air et dans un autre gaz, de placer, immédiatement et sans en nettoyer la surface, les lames métalliques utilisées sur une plaque sensible et de les y laisser 24 heures, les impressions sont produites dans l'air ; les valeurs des densités photographiques ainsi obtenues permettent de comparer les fatigues éprouvées par les métaux dans l'air et les divers gaz.

Résultats obtenus avec le cadmium, le magnésium après action dans l'azote et dans l'air :

	Cadmium après action dans				Magnésium après action dans			
	Air	Fond	Azote	Fond	Air	Fond	Azote	Fond
Densité	1,09	0,57	1,14	0,44	0,77	0,40	1,28	0,56

Résultats obtenus avec le zinc et le magnésium après action dans l'oxygène et dans l'air :

	zinc après action dans				Magnésium après action dans			
	Air	Fond	Oxyg.	Fond	Air	Fond	Oxyg.	Fond
Densité	0,60	0,42	0,46	0,36	0,65	0,55	0,73	0,53

La plupart de ces résultats concorderaient assez bien avec la supposition que l'on a déjà faite, savoir que la fatigue est due à la formation d'une couche d'oxyde à la surface du métal; il faudrait alors admettre que le magnésium s'altère superficiellement moins profondément dans une atmosphère d'oxygène que dans l'air, ce que l'expérience faite plus haut dans l'oxygène à la pression de $1/4$ d'atmosphère ne semble pas confirmer.

Quoiqu'il en soit de ces anomalies, il résulte des expériences de ce paragraphe que dans l'azote et le gaz carbonique même secs l'action persiste, amoindrie il est vrai, mais suffisamment nette. On peut sans doute dire que dans de pareilles atmosphères, il reste encore des traces de vapeur d'eau et d'oxygène qui, comme nous avons vu, sont indispensables à

la formation de l'eau oxygénée. Nous avons signalé que les plus grandes précautions ont été prises pour que les gaz soient secs ou privés d'oxygène. Pour éviter l'intervention de gaz oclus, on maintenait préalablement pendant quelques jours un vide très poussé dans le récipient utilisé. D'ailleurs si on invoque la présence de vapeur d'eau ou d'oxygène provenant, par exemple, des gaz absorbés par les parois du récipient, puis restitués lentement pourquoi ces mêmes gaz ne produiraient-ils pas le même effet quand on opère dans l'hydrogène ou dans le vide cathodique.

Aussi l'explication de l'ensemble de faits mis en évidence dans ce paragraphe paraît-elle être plutôt celle que nous avons déjà indiquée : tous les métaux exercent une action sur la plaque quelles que soient les conditions dans lesquelles ils sont placés (vide partiel ou gaz inertes) ; cette action est en général très faible et ne peut être mise en évidence qu'avec des plaques très sensibles et de très longues poses (plusieurs semaines) ; mais dans certaines circonstances cette action peut être renforcée par l'intervention de phénomènes secondaires : formation d'eau oxygénée par exemple en présence d'air humide ou excitation de molécules ou d'atomes sous l'action du rayonnement émis par les métaux dans le gaz inertes ou secs. Cette action renforçatrice secondaire serait plus efficace que la cause initiale. Cette dernière serait en tout cas une propriété spécifique du métal et on comprendrait que le magnésium puisse ne pas se comporter comme les autres. Enfin dans le même ordre d'idées remarquons que l'hypothèse de Russell devrait avoir pour conséquence une action photographique plus vive en atmosphère humide qu'en atmosphère desséchée ; nous avons signalé plus haut la contradiction des résultats obtenus par Russell sur ce point particulier à des époques différentes. Nous avons pensé utile de reprendre l'expérience : il suffit de faire agir sur des plaques provenant d'une même boîte deux lames métalliques identiques, l'une d'elles étant maintenue pendant toute la

durée de l'expérience dans un récipient dont l'atmosphère est desséchée, l'autre dans un récipient où la vapeur d'eau est à l'état de saturation. L'expérience n'a pas donné de différence notable.

8. Influence de la distance séparant la plaque de la lame. —

L'action diminue rapidement quand la distance qui sépare la plaque sensible de la lame agissante augmente, aussi à mesure que cette distance croît est-il nécessaire d'augmenter fortement le temps de pose pour avoir des impressions suffisamment prononcées.

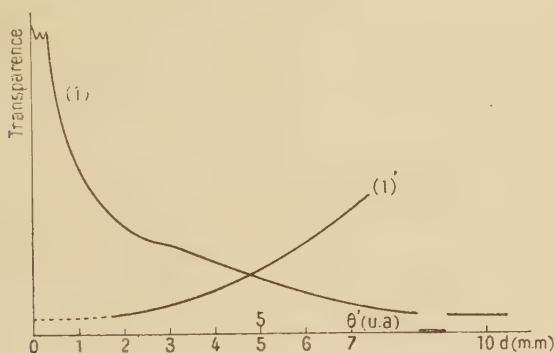


Fig. 12.

Pour montrer cette influence, on place la plaque horizontalement dans une boîte, la gélatine étant tournée vers le haut, sur l'un de ses bords on met une cale d'épaisseur connue, on place au-dessus la lame métallique active de manière que l'une de ses extrémités se trouve sur la cale tandis que l'autre est en contact avec la couche sensible; on forme ainsi un coin d'air dont l'épaisseur en chaque point est facile à déterminer. L'impression obtenue permet de voir comment varie le noircissement de la plaque avec la distance.

L'étude des plaques était faite au moyen d'un photomètre enregistreur qui donne directement la courbe de variation

des opacités en fonction de la distance, de cette courbe il est facile de déduire les densités correspondantes.

La courbe 1 de la figure 12 correspond à une expérience faite avec du zinc en poudre, l'épaisseur de la cale utilisée était de 18 mm. et la durée de pose de 24 heures; on voit que l'action diminue très rapidement quand la distance augmente.

9. Ombres portées par obstacles interposés. — Dans toutes ces expériences on est frappé par la netteté des bords des impressions qui correspondent aux extrémités des lames ou des obstacles interposés entre la plaque et le métal. Russel a lui-même signalé que lorsqu'un accident (éraflure par exemple) se trouve à la surface d'une lame de zinc, il est reproduit avec netteté sur la plaque même à une distance appréciable.

Quand les distances deviennent grandes (1 cm.) les bords des impressions sont flous et les obstacles paraissent *tournés*; ceci avait fait croire à Colson qu'il s'agissait de vapeurs métalliques et fait penser à Russell que l'agent d'action sur la plaque était une vapeur ou un gaz.

Malgré cette dernière constatation, on peut obtenir des effets d'ombre qui paraissent peu compatibles avec une explication faisant uniquement intervenir la diffusion des gaz. Ces effets, très nets pour des distances des obstacles à la lame agissante ou à la plaque sensible de quelques millimètres, le sont encore suffisamment pour 1 cm. Le libre parcours moyen des molécules d'eau oxygénée formées qui diffuseraient ensuite, est de l'ordre de 10^{-5} cm. c'est-à-dire 10^5 plus petit que les intervalles offerts à la libre diffusion de ces vapeurs; il peut donc paraître surprenant que cette dernière, tant en avant qu'en arrière de l'obstacle, ne produise pas l'uniformité de l'impression étant donnée la durée des expériences et la lenteur de formation et de diffusion de l'eau oxygénée.

Pour expliquer ces apparences, il faudrait compléter l'hypothèse de Russell et admettre qu'une partie de l'action sur la plaque se transmet à partir de la surface métallique suivant une ligne droite, comme si les molécules d'eau oxygénée formées étaient projetées avec une certaine vitesse sous l'action des réactions chimiques qui les produisent, ou comme si le métal ou les gaz qui l'environnent émettait un rayonnement électromagnétique.

A notre avis l'explication la plus simple consisterait à admettre que l'action sur la plaque est due : 1° au rayonnement émis par le métal ; 2° à l'eau oxygénée ou aux gaz excités produits par ce dernier. L'eau oxygénée par exemple se produirait aux points qu'atteint le rayonnement, tandis qu'aux points protégés par les obstacles il ne pourrait y avoir que l'action de l'eau oxygénée ou des gaz excités amenés par la diffusion. En somme à l'action directe du rayonnement émis par le métal et se propageant en ligne droite, se superposerait celle de gaz soumis à diffusion, d'où ce mélange d'apparences d'ombres portées et d'obstacles tournés que présentent les impressions.

10. Impressions à travers certaines substances. — Russell a indiqué que l'action du métal sur la plaque se produit à travers un certain nombre de substances : papier, carton, gélatine, celluloïd, etc... Ses expériences sont très faciles à répéter : on enveloppe une plaque photographique dans une feuille de papier noir, on place au-dessus une lame de zinc en forme de croix par exemple, après une pose de 24 heures, on trouve sur la plaque une impression en forme de croix à bords très nets.

Ces résultats pourraient s'interpréter en admettant que l'action est due à une vapeur qui, traversant la feuille, viendrait impressionner la plaque ; il est cependant bizarre que cette vapeur ne se diffuse dans la feuille de papier que dans le sens perpendiculaire aux lames métalliques et nullement

dans le sens parallèle, de sorte qu'au bout de 24 ou 48 heures, les bords de l'impression sont toujours aussi nets.

S'il y a dans la feuille ou l'écran employés un manque d'homogénéité, les singularités apparaissent sur la plaque on peut ainsi faire des pseudomicroradiographies susceptibles de donner parfois des renseignements intéressants ; on peut, par exemple, révéler de cette façon sur une feuille de papier des caractères non apparents, qui y ont été préalablement tracés, avec une solution saline, basique ou acide.

Russell a déjà signalé que des feuilles imbibées de certaines solutions salines ne se laissent pas traverser ; c'est là une propriété qui paraît générale et semble se rattacher à la conductibilité des corps ; des feuilles imbibées de solutions salines, acides ou basiques, puis séchées ne se laissent pas traverser, tandis que si on les mouille avec un isolant, comme la benzine, elles laissent passer l'action. On peut sans doute dire, dans le cas de l'hypothèse de Russell que le corps conducteur dont la feuille est imprégnée provoque la destruction de H^2O^2 , mais alors il paraît bizarre que l'acide sulfurique, par exemple, qui a la propriété de conserver l'eau oxygénée quand elle est en solution possède au contraire celle de la détruire quand elle est en vapeur.

La cellophane, que l'on trouve dans le commerce, laisse passer l'action à travers des épaisseurs relativement grandes (plusieurs dixièmes de millimètre) et se prête facilement à des expériences même quantitatives. Les résultats suivants ont été obtenus en faisant agir des lames métalliques sur une plaque à travers 4 fenêtres percées dans une lame de mica et couvertes à moitié par des lamelles de cellophane d'épaisseur croissante. Le métal utilisé était le zinc, pour les deux plus faibles épaisseurs la pose a été de 48 heures et pour les deux autres de 12 jours.

Action à travers :	Air	0 mm. 02 de cellophane	Air	0 mm. 08	Air	0 mm. 20	Air	0 mm. 32	Fond
Densité	2,94	2,67	3,03	0,67	3,91	1,79	3,89	0,83	0,40
Différence	0,27		2,36		2,12		3,06		

Pour voir comment se comportent les divers métaux au point de vue de l'action à travers la cellophane, il suffit de répéter l'expérience en utilisant une lame de mica à 4 fenêtres; à travers chacune d'elles on fait agir un métal différent après avoir recouvert un tiers de la fenêtre avec une lame de cellophane de 0 mm. 02 d'épaisseur, un deuxième tiers avec une lame de 0 mm. 04, le reste étant complètement dégagé.

L'expérience a donné les résultats suivants (pose, 24 heures) :

Métal	Zinc			Cadmium			Magnésium			Aluminium		
Épaisseur .	0,02	0	0,04	0,02	0	0,04	0,02	0	0,04	0,02	0	0,04
Densité .	1,52	2,01	0,53	0,85	1,38	0,35	1,39	2,04	0,49	0,25	0,38	0
Différence .	0,49		1,48	0,53		1,03	0,65		1,55	0,13		0,38

Russell explique le passage de l'action à travers des substances comme la cellophane par un mécanisme de dissolution ou de combinaison, une simple diffusion ne permettant pas d'expliquer ce passage; dans ces conditions l'eau oxygénée formée après s'être combinée ou dissoute dans la substance formant l'écran à partir d'une de ses faces serait libérée par l'autre face et impressionnerait la plaque. L'impression ne devrait donc semble-t-il, dépendre que de la concentration initiale en eau oxygénée formée au contact de la lame métallique; or si l'on examine les résultats obtenus

avec le zinc et le magnésium, on voit que cette concentration doit être la même puisque les impressions directes ont la même densité (2,01 et 2,04) alors que les impressions à travers les mêmes écrans sont fort différentes (0,49 et 0,65, 1,48 et 1,55).

En outre, dans le mécanisme de dissolution ou de combinaison supposé par Russell, l'eau incluse dans la substance jouerait un rôle essentiel ; il est incontestable que les corps qui laissent passer l'action sont susceptibles d'imbibition, cependant on constate que l'impression se produit, beaucoup plus difficilement il est vrai, à travers de très minces feuilles de paraffine, de mica et même d'or ou d'aluminium.

On le montre pour la paraffine en plongeant dans de la paraffine fondue une lame de zinc fraîchement nettoyée, la lame retirée reste couverte d'une pellicule que l'on amincit avec une lame de rasoir ; on la porte ensuite sur la plaque en interposant un obstacle quelconque on obtient après de très longues poses (plusieurs semaines) une impression avec ombre de l'obstacle.

Pour montrer que l'action traverse l'aluminium ou l'or, on place sur une plaque sensible une mince feuille d'or (0 mm. 01) et l'on pose au-dessus une lame de zinc en interposant un obstacle entre les deux. On constate que la lame produit une impression, que l'on n'obtient pas si les feuilles d'or ou d'aluminium sont seules ou surmontées d'une lame de cuivre.

Seul le mica semble arrêter toute action quand on dispose l'expérience sans précaution spéciale. On obtient une impression à travers de très minces lamelles de mica (épaisseur inférieure à 1/100 de millimètre) avec de longues poses (2 ou 3 semaines) si l'on a soin de laisser entre la lamelle de mica et la plaque une mince pellicule d'air ; pour cela on découpe dans une lame de mica de 1 ou 2 dixièmes de millimètre d'épaisseur une fenêtre de 1 cm. de côté et sur cette fenêtre on colle une lamelle de mica d'épaisseur beaucoup plus fai-

ble, on superpose ensuite la plaque sensible, la lame de mica et la lame métallique agissante, on constate qu'il y a action à travers la fenêtre quand la lame de mica est disposée de manière que la mince pellicule d'air, qui se trouve dans la cavité formée par la fenêtre, soit en contact avec la couche sensible. Il semble que la faible action qui traverse la lamelle de mica, est encore ici renforcée par un effet secondaire dû à la présence de l'air. On peut, il est vrai, dire que l'impression est produite, non par le rayonnement qui a traversé la lamelle de mica, mais par des vapeurs d'eau oxygénée qui, en glissant entre les deux lames de mica, sont venues se rassembler dans la cavité correspondante à la fenêtre et ont ensuite agi sur la plaque photographique. Le passage de vapeurs entre deux surfaces assez grandes, parfaitement appliquées l'une sur l'autre, paraît difficile à expliquer par simple diffusion ; il faudrait faire intervenir, pour ces vapeurs, quelque chose d'analogue à un effet capillaire.

Il est juste de signaler que, dans toutes ces expériences d'action à travers le mica, on trouve une action particulière des bords qui est assez curieuse ; l'impression dans leur voisinage immédiat est toujours plus accusée. Cette action des bords pourrait s'expliquer en admettant soit que les vapeurs H^2O^2 viennent s'y condenser par suite d'effet de capillarité, soit que les radiations pénétrant dans le mica subissent des réflexions dont le résultat serait de localiser une grande partie de l'action photographique sur ses bords.

11. Activation de certains corps. — Les corps qui, comme le papier, se laissent facilement traverser deviennent à leur tour capables d'impressionner la plaque photographique quand on retire la lame métallique agissante ; ceci s'explique aisément dans l'hypothèse de Russell : une partie de l'eau oxygénée formée resterait emprisonnée dans les pores de la substance et viendrait ensuite agir sur la plaque.

Pour faire l'expérience, on maintient pendant 48 heures

une lame de zinc, de cadmium ou de magnésium en contact avec une feuille de cellulose (papier) en interposant entre les deux de petites lamelles de mica et de cellophane. La feuille est ensuite placée sur une plaque sensible; au bout de 24 heures elle a produit une impression avec ombre portée des lamelles de mica et de cellophane qui avaient été mises entre la feuille et les lames métalliques pendant l'excitation.

L'expérience est conduite de manière à comparer entre eux le zinc, le cadmium, le magnésium : on fait pour cela agir ces métaux 2 à 2 sur des feuilles juxtaposées d'un même échantillon de cellulose qu'on porte ensuite pendant 48 heures sur la plaque photographique. On a obtenu les résultats suivants :

a) Feuille activée avec le zinc (I) et le cadmium (II).

(I)	par contact direct	à travers cello- phane	à tra- vers mica	(II)	con- tact di- rect	à travers cello- phane	à tra- vers mica	Fond de pla- que
Densité	0,416	0,34	0,31		0,48	0,35	0,31	0,31

b) Feuille activée par le zinc (I) et le magnésium (II).

(I)	par contact direct	à travers cello- phane	à tra- vers mica	(II)	con- tact di- rect	à travers cello- phane	à tra- vers mica	Fond de pla- que
Densité	0,46	0,36	0,32		0,32	0,32	0,32	0,32

c) Feuille activée par le cadmium (I) et le magnésium (II).

(I)	par contact direct	à travers cello- phane	à tra- vers mica	(II)	con- tact di- rect	à travers cello- phane	à tra- vers mica	Fond de pla- que
Densité	0,45	0,34	0,32		0,29	0,29	0,29	0,29

On voit que l'activation produite par le magnésium est inappréciable quoique ce métal soit aussi actif à la plaque que les deux autres ; s'il ne s'agit que d'une absorption d'eau oxygénée par les feuilles, on ne comprend pas pour quoi cette absorption se produirait dans le cas du zinc et du cadmium et non dans celui du magnésium.

Remarquons que si les feuilles ont été préalablement trempées dans des solutions conductrices (acides, basiques ou salines) puis séchées, l'activation ne se produit pas. Faut-il admettre que l'absorption ne peut avoir lieu dans ces cas ou que l'eau oxygénée est détruite au contact de ces corps ?

Signalons aussi que, dans le cas de ces activations comme dans celui du passage de l'action à travers certaines substances, les bords des impressions sont très nettement dessinés, il est assez bizarre que l'eau oxygénée ne se diffuse pas dans la masse de la substance et que les bords des impressions ou des ombres portées restent nets après des poses de 24 ou 48 heures.

Enfin il semble qu'en facilitant le départ de ces traces d'eau oxygénée, on doit faire disparaître l'activité de la substance. C'est bien ce qui se produit quand on chauffe la feuille que le contact de la lame de zinc a rendu active, mais ce n'est pas ce qui a lieu si on utilise le vide pour faire partir ces vapeurs. Une feuille de papier ou de carton est excitée par le contact d'une lame de zinc pendant quelques jours, on la divise en deux parties, l'une A est placée dans un récipient dans lequel on maintient un vide cathodique pendant 48 heures, l'autre B est laissée à l'obscurité dans les conditions ordinaires de pression. Les deux moitiés A et B sont ensuite placées sur une même plaque photographique, au bout de 24 heures de pose, A produit une impression tandis que B n'exerce qu'une action insignifiante. Contrairement à ce que l'on attend c'est la feuille placée dans le vide qui aurait le plus facilement retenu l'eau oxygénée.

Les substances présentent, comme les corps phosphorescents, une certaine fatigue à l'activation. Pour le montrer on prend une feuille et on la coupe en deux parties A et B, on active A seule en la mettant pendant 2 ou 3 jours en contact avec une lame de zinc ou de cadmium ; on place ensuite A et B sur une plaque photographique en les juxtaposant ; après une pose de 24 ou 48 heures on constate que seule la partie de la plaque qui est sous A est impressionnée. On remet alors A et B sous la lame métallique excitatrice pendant 2 ou 3 jours, quand on les fait agir toutes deux sur une plaque sensible on constate que l'impression produite par B est plus forte que celle de A.

Des feuilles A activées par contact avec le zinc et le cadmium donnent :

	Feuilles A activées par le zinc	Feuilles A activées par le cadmium	Fond de plaque
Densité . .	0,32	0,32	0,26

Les feuilles précédentes A étant activées de nouveau eu même temps que les feuilles B qui le sont pour la première fois on obtient en les faisant agir juxtaposées 2 à 2 sur la même plaque :

	Feuilles activées par le zinc		Fond de plaque	Feuilles activées par le cadmium		Fond de plaque
Densité .	A 0,41	B 0,43	0,40	A 0,34	B 0,37	0,31

Les feuilles B s'activent plus que les feuilles A : tout se passe donc comme si ces dernières éprouvaient une fatigue à l'activation.

Ces résultats, sauf ceux qui sont relatifs à l'action de la température, se comprennent assez mal dans l'hypothèse d'une simple diffusion d'eau oxygénée dans les substances soumises à l'action du métal.

Nous avons dit que, pour expliquer le passage de l'action à travers les corps non poreux Russell fait intervenir soit l'eau que peut absorber la substance (gélatine, cellophane) soit une combinaison de l'eau oxygénée avec l'un de ses constituants (le camphre dans le cas du celluloïd). Comme ces diverses substances sont aussi perméables à l'action que des feuilles de papier ou de carton, il semble que le contact avec des lames métalliques devrait les activer tout autant, ce n'est pas ce que l'expérience révèle et les impressions produites sont fort vagues. Remarquons qu'une explication faisant intervenir un mécanisme analogue à celui de la phosphorescence ou de la fluorescence rendrait plus facilement compte de ces différences qui seraient alors liées à la constitution moléculaire ou à la structure physique des corps.

12. Renforcement de l'action par le carbone. — Sur une lame de zinc fraîchement nettoyée, on trace des caractères, une croix par exemple, soit avec de l'encre de chine, soit avec de la plombagine, soit encore avec du carbone en poudre ; on place la lame pendant 24 heures au-dessus d'une plaque photographique enveloppée ou non de papier noir ; on obtient une impression où les caractères dessinés sont très nettement accusés. La présence du carbone a eu pour effet de renforcer l'action du métal.

Beaucoup de métaux possèdent, eux aussi, la propriété d'avoir leur action renforcée par la présence du carbone. Pour les comparer à ce point de vue on fait agir simultanément sur une même plaque des lames de divers métaux dont une moitié a été noircie à l'encre de chine ; voici les résultats obtenus :

Expérience 1. Métaux étudiés Zn, Cd, Mg, Al. Pose 20 heures.

	Action du Zn		Action du Cd		Action du Mg		Action de Al		Fond de plaque
	avec C	sans C	avec C	sans C	avec C	sans C	avec C	sans C	
Densité .	3,50	2,52	3,32	1,36	0,76	2,44	1,75	0,76	0,60

Expérience 2. Métaux étudiés Ni, Sn, Pb. Pose 1 semaine.

	Action du Ni		Action du Sn		Action du Pb		Fond de plaque
	avec C	sans C	avec C	sans C	avec C	sans C	
Densité .	1,58	0,86	1,74	0,84	2,55	0,75	0,62

On voit que, sauf pour le magnésium, cet effet renforçateur du C paraît général. Il faut remarquer que cet effet dépend de l'épaisseur de la couche de carbone déposée sur le métal et qu'il y a pour celle-ci une valeur optima : si cette épaisseur est trop grande les caractères tracés apparaissent en blanc sur la plaque sensible, la couche de carbone joue alors le rôle d'obstacle ; si on frotte légèrement celle-ci avec de la toile émeri à grain très fin l'impression des caractères apparaît en noir, puis si on frotte encore l'effet diminue et devient de plus en plus faible à mesure que le nettoyage est plus profond. Parfois l'effet renforçateur se produit même quand le carbone est à l'état de traces : sur une lame d'étain on trace à l'encre de chine des caractères quelconques, on les fait ensuite disparaître en frottant la lame avec de la toile émeri. quand on fait agir sur la plaque on constate que les

caractères ressortent faiblement mais nettement quoique l'on n'aperçoive rien sur la lame ; on constate même que les caractères ressortent quand on met en action la lame plusieurs mois après.

Dans l'hypothèse simple de Russell il faut admettre que le carbone exerce une action de catalyse et facilite la formation de H^2O^2 ; en complétant cette hypothèse de manière à considérer la formation de l'eau oxygénée comme due au rayonnement émis par le métal, cet effet renforçateur s'expliquerait aisément par un mécanisme analogue à celui d'une fluorescence.

13. Influence de l'épaisseur des lames métalliques sur leur action photographique. — L'expérience montre que l'impression produite sur la plaque ne dépend pas seulement de l'état de la surface de la lame agissante, mais aussi de son épaisseur.

On le montre de la manière suivante : sur une plaque photographique, on place une lame de mica portant quatre fenêtres sur lesquelles on pose quatre lames de plomb provenant d'un même échantillon, mais auxquelles on a donné en superposant plusieurs d'entre elles des épaisseurs différentes (2, 16, 2 et 16 mm.). La pression sur tous les points de la surface de la plaque photographique étant rendue uniforme, on dispose l'ensemble dans une boîte de carton et on laisse à l'obscurité pendant une semaine dans une salle du laboratoire couverte d'une mince toiture.

Après développement, on obtient les résultats suivants :

Épaisseur (mm) .	2	16	2	16
Densité	1,96	2,5	1,96	2,38

On voit que la lame de 16 mm. d'épaisseur a produit une plus forte impression que les lames moins épaisses.

Recommencée plusieurs fois l'expérience a donné des résultats analogues l'hypothèse de Russell ne peut permettre de les interpréter sans être modifiée ou complétée.

Nous avons déjà signalé que sous l'action du rayonnement cosmique certains métaux, notamment le plomb, émettaient des gerbes constituées de centres positifs, négatifs et de photons ; d'autre part l'expérience a montré (14) que ces gerbes sont plus nombreuses pour une certaine épaisseur qui pour le plomb a été trouvée égale à 16 mm., c'est la raison pour laquelle nous avons pris cette épaisseur dans l'expérience qui précède et on comprend pourquoi l'action photographique est plus accusée pour elle.

14. Diminution des actions photographiques à l'intérieur d'écrans de plomb. — Nous avons vu dans la première partie de ce travail que, sous l'influence du rayonnement cosmique tous les métaux émettent des rayons secondaires susceptibles d'ioniser les gaz ; nous avons déjà indiqué que ces rayons intervenaient peut-être dans l'action photographique des métaux et que probablement dans le cas du zinc et de quelques autres cette dernière action était renforcée par l'eau oxygénée dont la formation était facilitée par les radiations émises par les métaux. S'il en est ainsi c'est en définitive le rayonnement cosmique qui serait à l'origine de l'action exercée par les métaux sur la plaque photographique, et toute circonstance amoindrissant l'action ce rayonnement diminuera les impressions photographiques ; c'est ce qui doit se produire quand on place la plaque sensible et la lame agissante à l'intérieur d'un écran de plomb suffisamment épais. On ne peut pas espérer pouvoir supprimer toute action puisque des épaisseurs de plomb de plusieurs mètres n'arrivent pas à diminuer de moitié l'intensité de la partie dure du rayonnement cosmique ; cependant une trentaine de centimètres de plomb doivent arrêter la totalité de la partie molle de

ce rayonnement et amoindrir peut-être les actions sur la plaque.

Les expériences sont faciles à réaliser ; on coupe en deux parties A et B une lame de métal après l'avoir nettoyée, on les place dans des boîtes séparées au-dessus de plaques provenant d'une même émulsion. La boîte contenant A est mise dans un écran de plomb d'une trentaine de centimètres d'épaisseur ; celle qui contient B est laissée à l'obscurité mais sans écran protecteur, dans le voisinage de la première. Après une pose variant suivant les métaux de quelques heures à plusieurs jours, on développe les deux plaques en même temps et dans le même bain, on constate que l'impres-sion produite par A est plus faible que celle de B.

Quoique l'on ait pris soin dans les expériences précédentes d'utiliser des plaques d'une même boîte soumises aux mêmes conditions de développement et de prendre des lames métalliques d'un même échantillon, on peut leur reprocher de comparer les actions de deux lames différentes sur des plaques elles aussi différentes. Pour éviter cette critique on s'est arrêté au procédé suivant.

a) Après avoir nettoyé la lame métallique expérimentée, on la place sur une plaque sensible dont on la sépare par une lame de mica de 0 mm. 2 d'épaisseur et portant une fenêtre dégageant une moitié de la plaque ; on laisse agir pendant un temps déterminé à l'extérieur de l'écran de plomb. On nettoie à nouveau la lame métallique et en tournant de 180° dans son plan la lame de mica interposée on fait agir le métal pendant le même temps sur l'autre moitié de la plaque, tout l'ensemble étant cette fois-ci à l'intérieur de l'écran de plomb. Au développement on obtient deux plages juxtaposées, dont il est facile de comparer les opacités et pour lesquelles on ne peut faire de critique au sujet de l'identité de l'émulsion et des conditions de développement.

Expérience 1. — Métal employé zinc. Pose 6 heures.

	Impression obtenue		Fond de plaque
	avec écran de plomb	sans écran	
Densité . . .	1,75	1,85	0,30

Expérience 2. — Métal employé cadmium. Pose 21 heures.

	Impression obtenue		Fond de plaque
	avec écran de plomb	sans écran	
Densité . . .	0,80	0,83	0,51

On peut objecter à ce processus qu'il est bien difficile de réaliser un nettoyage identique d'une lame à des moments différents, c'est d'ailleurs probablement pour cela que l'on a parfois éprouvé des échecs. L'expérience ayant été répétée 12 fois dans des conditions en apparence identiques, on a enregistré 2 échecs nettement caractérisés, 2 cas douteux et 8 succès.

15. Influence des conditions extérieures. — Dans le même ordre d'idées des expériences ont été faites pour comparer les actions photographiques exercées par divers métaux soit quand on dispose l'expérience au sommet d'une tour d'une vingtaine de mètres de hauteur, soit au fond d'une cave à plusieurs mètres sous terre, les autres conditions (pose, température) restant bien entendu autant que possible identiques ; le processus était celui qui a été indiqué dans le paragraphe précédent.

Voici les valeurs des densités qui ont été obtenues.

Métal	Pose (heures)	Au sommet de la tour	Dans la cave	Fonds de plaque	Température moyenne	
					Tour	Cave
Mg. .	24	1,93	1,91	0,59	16,5	17
Cd. .	48	1,84	1,69	0,77	18	17
Zn. .	24	1,33	1,14	0,70	18	17

Dans le cas du zinc, on avait interposé une pellicule de cellophane entre la plaque et la lame afin d'amoindrir l'action et d'allonger la pose. Répétée 8 fois l'expérience a donné seulement des résultats positifs.

16. Hypothèse de l'action du rayonnement émis par le métal et d'un rôle secondaire joué par H^2O^2 . — Si on admet sans aucune modification l'hypothèse de Russell il est difficile d'expliquer tous les faits que nous venons d'exposer, même en faisant intervenir des actions catalytiques. On ne peut pas non plus expliquer l'ensemble des résultats, du moins dans le cas du zinc, du magnésium, du cadmium et peut être de l'aluminium par l'unique action sur la plaque du rayonnement émis par le métal.

Il existe une hypothèse mixte qui, sans supprimer l'intervention de H^2O^2 ou de quelqu'autre gaz actif, permettrait en leur faisant jouer un rôle secondaire, d'expliquer toutes les particularités présentées par le phénomène et de répondre à toutes les objections.

Nous avons vu qu'un métal quelconque émet des radiations, facilement absorbables, appartenant au domaine intermédiaire ; ces radiations secondaires sont dues au rayonnement cosmique ; leur intensité est très faible, elles produisent quelques dizaines d'ions par seconde et par centimètre cube,

mais comme elles sont très absorbables, elles peuvent sans doute exciter des éléments légers (carbone, azote ou oxygène) ; l'action de ceux-ci viendrait s'ajouter à l'action directe produite sur la plaque par le rayonnement émis par le métal. Ces mêmes radiations ont probablement aussi la propriété, comme les radiations ultraviolettes, de provoquer la formation de H^2O^2 , qui vient, elle aussi, apporter son action sur la plaque et donner des effets nettement exagérés comme ceux que l'on trouve avec le zinc, le magnésium, le cadmium ou l'aluminium.

Cette hypothèse permet de conserver, dans beaucoup de cas, l'explication de Russell et a l'avantage de répondre à toutes les objections que nous lui avons faites.

Tous les métaux émettant des rayons secondaires, on comprend pourquoi ils agissent plus ou moins sur la plaque suivant leur nature chimique sans qu'il soit, dans tous les cas, nécessaire d'invoquer la formation d'eau oxygénée. L'action peut se produire avec des métaux inoxydables, comme l'or ou le platine ; elle se produira aussi dans des gaz inertes ou secs et même dans le vide.

Les radiations secondaires émises par les divers métaux étant différentes, leur action (directe ou non) sur la plaque est, elle aussi, différente et chacun des métaux se comporte de manière particulière. Dans le cas du zinc et de quelques autres métaux oxydables, les radiations secondaires émises provoquent dans l'air humide la formation d'un équilibre chimique que la présence du métal modifie. Ce mécanisme augmente la quantité d'eau oxygénée produite par le rayonnement du Zn et par suite l'action sur la plaque est beaucoup plus accusée qu'avec d'autres métaux. On conçoit que la formation d'une couche d'oxyde à la surface du métal, provoque une diminution de l'effet donnant ainsi une apparence de fatigue ; mais cette dernière peut se rattacher à toute autre cause modifiant l'état de la surface.

On comprend aussi que l'état physique du métal joue dans

le phénomène un rôle important, l'écroûissage diminue l'action puisque les radiations secondaires absorbables émises par les couches métalliques sous-jacentes traversent plus difficilement les couches écroûies avant de venir impressionner la plaque ou activer le gaz environnant. Pour la même raison l'action photographique est en général moindre avec les métaux de grande densité qu'avec ceux qui sont légers.

Cependant il est possible que, dans une certaine mesure, l'écroûissage, en augmentant le nombre des atomes superficiels qui interviennent dans le phénomène, ait aussi pour effet d'augmenter l'action, on conçoit alors que certains métaux (Mg) ne se comportent pas comme les autres. C'est pour une raison analogue que les métaux sont en général moins actifs sous forme de poudre qu'en lames.

Une couche d'oxyde formée à la surface du métal peut amoindrir l'action en modifiant, comme nous l'avons dit, l'équilibre chimique correspondant à la formation d'eau oxygénée ou bien en absorbant les radiations émises par les couches métalliques sous-jacentes.

Notre hypothèse fait comprendre que l'on ait à la fois des effets d'ombre et des effets de diffusion. Elle explique le passage de l'action à travers les écrans soit en admettant le mécanisme proposé par Russell soit en faisant intervenir des phénomènes de phosphorescence ou de fluorescence des éléments légers qui se trouvent dans les substances traversées. Ces derniers phénomènes pourraient d'ailleurs expliquer aisément les particularités que présente l'activation de certains corps ou le renforcement de l'action qu'ils produisent.

Enfin l'influence de l'épaisseur d'une lame de plomb sur l'action qu'elle exerce et la diminution de l'action photographique que donne l'expérience à l'intérieur d'écrans de plomb ou derrière certains obstacles, ne peut guère s'expliquer que dans notre hypothèse.

17. Conclusion. — Il résulte de l'étude qualitative précédente que l'explication de Russell est insuffisante et qu'on doit la modifier. On peut le faire dans le sens que nous venons d'indiquer.

Dans ce qui précède nous avons utilisé la photométrie photographique afin d'apporter quelque précision dans la comparaison des résultats obtenus, dans des circonstances diverses, avec des métaux différents. On pourrait aller plus loin dans ce sens et l'utiliser pour faire une étude quantitative des actions photographiques examinées. Cette étude pourrait donner lieu à de très longs développements, nous la limiterons à quelques points particuliers.

III. — Etude quantitative. (1)

1. Tracé des courbes de noircissement. — Quand il s'agit de l'action des métaux, l'énergie que reçoit la plaque et qui produit l'image peut être apportée à la couche sensible soit par des radiations électromagnétiques soit par des vapeurs qui viennent agir chimiquement sur le sel d'argent de l'émulsion ; nous obtiendrons les courbes de noircissement en portant sur un axe les densités photométriques et sur l'autre les logarithmes correspondants de l'énergie reçue par la plaque ; cette dernière quantité est difficile à exprimer en valeur absolue, mais on peut avoir facilement des quantités qui lui sont proportionnelles.

(1) La place limitée dont nous disposons nous a amenés à abréger fortement l'exposé de cette étude et à passer sous silence les expériences que nous avons faites sur : 1^o la comparaison pour diverses plaques des courbes de noircissement obtenues avec les métaux et la lumière ordinaire. 2^o l'étude de la fatigue en fonction du temps. 3^o les coefficients d'absorption par l'air à pression réduite. 4^o la variation des coefficients d'absorption par la cellophane avec son épaisseur... etc.

Quel que soit le processus de l'action produite sur la couche sensible par la lame métallique, on peut évidemment admettre que si, dans des conditions déterminées, pour des temps de pose égaux les noircissements sont les mêmes, l'énergie reçue par la plaque aura aussi même valeur; il en résulte que si on ne change pas les conditions de l'expérience l'énergie apportée à la plaque sera proportionnelle au temps de pose, nous obtiendrons donc la courbe de noircissement en portant en abscisses des quantités proportionnelles aux logarithmes des temps de pose et en ordonnées les densités photographiques correspondantes.

2. Utilisation des courbes de noircissement. — Dans le cas des métaux les courbes de noircissement pourront être utilisées de même manière que pour la lumière: par exemple, elles pourraient servir à déterminer le γ des courbes et ses variations ainsi que les valeurs de l'inertie ou du seuil. En outre les déterminations de l'énergie reçue par la plaque renseigneront sur les concentrations de vapeur correspondant aux diverses conditions expérimentales s'il s'agit de vapeurs, ou sur l'éclairement de la couche sensible s'il s'agit de radiations. Nous aurons notamment le moyen de voir soit comment les vapeurs se diffusent autour de la lame métallique, soit comment les radiations émises par cette dernière sont absorbées par l'atmosphère environnante ou des écrans variés.

3. Réalisation des expériences. — Afin d'éviter toute critique relative soit à la nature de l'émulsion soit aux conditions de développement, les plages à comparer sont juxtaposées sur une même plaque; pour cela, on prépare une série de feuilles de mica de même épaisseur et provenant d'une même lame; dans chacune de ces feuilles dont les dimensions sont celles de la plaque sensible utilisée on a percé une fenêtre dont l'emplacement varie d'une feuille à l'autre de

manière à occuper successivement les positions $F_1, F_2, F_3 \dots F_8$.

Les expériences sont alors disposées et conduites comme il suit : au fond d'une boîte de carton ($6,5 \times 9$ cm.) est placée une lame de verre V sur laquelle repose la plaque sensible P gélatine en dessus, sur P est posée la feuille de mica portant la fenêtre F_1 , puis la lame métallique expérimentée. On laisse agir pendant un temps déterminé et dans des conditions données, puis on recommence en remplaçant la lame de métal ou en changeant les conditions, mais en ayant soin de remplacer la feuille de mica par celle qui porte la fenêtre $F_2 \dots$ et ainsi de suite. On obtient ainsi sur la plaque sensible une série d'impressions correspondant à des conditions diverses et que l'on peut comparer.

4. Détermination de la courbe de noircissement d'un métal.

— On fait agir le même métal successivement sur les plages correspondant aux fenêtres des diverses feuilles de mica, la lame métallique étant nettoyée avec soin après chaque pose.

Par exemple une lame de zinc a donné avec une plaque Fulgur et pour une distance de 0 mm. 2 les résultats suivants :

Pose t (heures)	4	6	8	12	16	24	48	72	Fond de plaque
Log t	0,6	0,78	0,9	1,08	1,20	1,38	1,68	1,85	
Densité.	0,65	0,97	1,04	1,40	1,77	2,14	2,81	3,05	0,30

La courbe de noircissement correspondante est représentée par la fig. 13 (courbe 1) elle a la même allure que celle que donne la lumière, elle présente sinon un maximum indiquant un renversement de l'image, du moins une densité limite. La région de pose correcte utilisable pour les diverses comparaisons, correspond à des poses comprises entre 8 et

24 heures. Dans le cas de l'expérience la pente γ est voisine de 1.

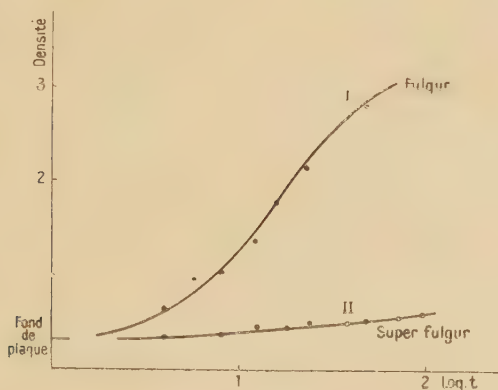


Fig. 13.

La courbe 2 de la même figure représente les résultats obtenus pour le zinc dans les mêmes conditions expérimentales avec une plaque super fulgur. On voit que ces dernières sont beaucoup moins sensibles que les fulgur, que nous avons employées exclusivement.

5. Comparaison des courbes de noircissement de deux métaux. — Pour que la comparaison soit correcte, il faut que les impressions photographiques utilisées pour construire les courbes aient été produites sur une même plaque et soumises par suite à des conditions de développement identiques.

Les expériences sont faciles à réaliser au moyen du dispositif indiqué plus haut : on fait agir, pendant des poses de durées diverses, un premier métal sur la série de plages délimitées sur la plaque par les feuilles de mica portant les fenêtres $F_1 F_2 F_3 F_4$; puis on recommence avec un deuxième métal sur la deuxième série de plages correspondant aux feuilles de mica qui portent les fenêtres $F_5 F_6 F_7 F_8$.

Les courbes de la figure 14 représentent les résultats obte-

nus en comparant deux à deux le zinc, le magnésium et le cadmium.

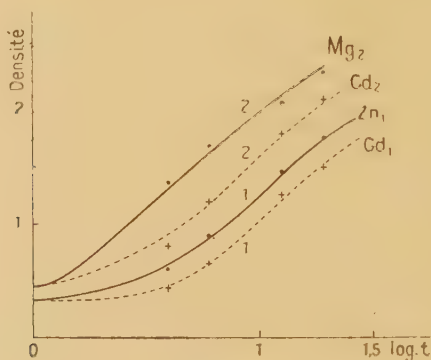


Fig. 14.

6. Influence de la distance de la source à la plaque. — Il s'agit de voir comment varie l'impression produite sur la plaque quand on change la distance qui la sépare du métal et de déduire des résultats, soit le coefficient d'absorption par l'air, s'il s'agit de radiations soit le coefficient de diffusion s'il s'agit d'une simple action chimique.

On commence par effectuer sur une moitié de la plaque une série d'impressions qui permettront de déterminer la courbe de noircissement. On remplace ensuite la feuille de mica à fenêtres par une lame de mica portant une ouverture rectangulaire AB de 7 cm. de longueur sur 2 cm. de largeur ; l'ouverture AB étant placée sur la deuxième moitié de la plaque, on y dispose la lame de métal de manière que l'une de ses extrémités repose en A sur la lame de mica et l'autre en B sur une cale d'épaisseur connue de manière à former un coin d'air entre la plaque sensible et la lame métallique.

Cette impression à travers l'ouverture AB donne au photomètre enregistreur la courbe de variation des transparences en fonction de la distance.

Prenons, par exemple, le cas que nous avons déjà cité page 73, figure 12, à propos de l'influence de la distance et dont on a reproduit les courbes données par le photomètre enregistreur. Comme nous l'avons déjà dit, la courbe (1) donnée par l'enregistreur représente les variations de la transparence des impressions en fonction de la distance et la courbe (1)' la courbe d'étalonnage, permettant de déterminer l'énergie correspondante à une transparence donnée.

En somme pour une même plaque l'enregistreur photométrique nous a donné une courbe de variation de la transparence du cliché en fonction de la distance à la lame agissante et une courbe de variation de cette même transparence en fonction de divers temps de pose ; si nous sommes dans les conditions expérimentales correspondant à la région de pose correcte (pose de 6 à 24 heures pour les fulgur) pour déterminer des valeurs proportionnelles à l'énergie reçue par la plaque à la distance d , il suffit de relever sur la courbe (1) la transparence T et de déterminer sur la courbe (1)' le temps de pose t qui lui correspond, ce temps t est lui-même proportionnel à l'énergie reçue par la plaque à la distance d . C'est pour rendre ces opérations plus commodes que les courbes (1) et (1)' ont pour ordonnées communes les transparences et pour abscisses l'une des distances l'autre des temps de pose.

Le dépouillement des courbes de la figure 12 donne pour les diverses distances les énergies suivantes en unités arbitraires :

Distance (cm.)	0,33	0,68	0,96	1,23
Énergie (u.a.)	7	6	5	4
Coefficient K	0,45	0,62	0,81	

Si nous admettions que l'action sur la plaque est uniquement et directement produite par les radiations qu'émet le

métal, les valeurs qui précèdent nous permettraient de déterminer les coefficients d'absorption par l'air de ces radiations. On trouverait les valeurs indiquées dans le tableau qui précède.

Ces valeurs sont bien de l'ordre de grandeur des coefficients que nous ont donnés certains métaux (plomb par exemple) en utilisant la méthode électrométrique ; mais cette dernière méthode a donné pour le zinc des valeurs deux ou trois fois plus petites (0,2 à 0,15) à des distances, il est vrai de quelques centimètres ; il semble donc que l'on doive conclure que des effets de diffusion de vapeurs actives viennent compliquer le phénomène. Il faut en effet remarquer qu'une diffusion, à partir de la lame métallique, de vapeurs venant impressionner la plaque aura pour effet d'exagérer l'impression. Cette perturbation fera, semble-t-il, d'autant plus sentir son effet que la distance séparant le métal et la plaque est elle-même plus petite ; en recommençant les expériences avec des distances beaucoup plus faibles on trouve en effet des coefficients d'absorption apparente dont les valeurs s'éloignent encore plus de celles que l'on a obtenues à l'électromètre, pour des distances de quelques dixièmes de millimètre les coefficients k atteignent des valeurs voisines de 10.

17. Conclusions. — Ces quelques résultats quantitatifs amènent donc à la même conclusion que l'étude qualitative : il y a dans l'action exercée par les métaux sur la plaque photographique autre chose qu'une action purement chimique, d'autre part une simple action des radiations émises par le métal ne suffit pas pour expliquer les résultats ; les deux effets agissent simultanément.

RÉSUMÉ

La thèse présentée se résume ainsi :

En plus d'une émission intermittente de radiations pénétrantes concomitantes avec la production de gerbes et une désintégration atomique sporadique, les métaux ordinaires émettent d'une manière continue des radiations relativement absorbables susceptibles d'ioniser les gaz, d'impressionner la plaque photographique et de provoquer la condensation de la vapeur d'eau dans la chambre à détente.

1. Dans la première partie, on a fait l'étude électrométrique du rayonnement des métaux les plus usuels et montré qu'il se compose de radiations se situant dans la région des rayons X mous et peut-être aussi de centres + et — projetés par la surface métallique avec de faibles vitesses. On a montré en outre que ce rayonnement paraît lié au rayonnement ultra pénétrant cosmique dont il ne serait qu'un effet secondaire.

2. Dans la deuxième partie on a montré que l'impression produite par les métaux sur la plaque photographique est une conséquence de l'action de ce rayonnement ; l'impression sur la couche sensible étant renforcée par la présence d'eau oxygénée produite sous l'action du rayonnement lui-même.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

1. GEITEL. *Phys. Zeitschr.*, **2** (1900), 116.
 2. WILSON. *Proc. Camb. Phil. Soc.*, **11** (1901), 32.
 3. COOKE. *Phil. Mag.*, oct. 1903, 403.
 4. STRUTT. *Natur.*, 17 Feb. 1903.
-

5. MAC LENNAN et BURTON. *Natur.*, 26 Feb. 1903.
 6. COOKE. *Natur.*, 2 avril 1903.
 7. RIGHI. *Cim. Jan.*, 1905, 53.
 8. CAMPBELL. *Phil. Mag.* [6], 9, 1905, 531.
 9. ARMSTRONG. *Natur.*, 3 mars 1903.
 10. WILSON. *Proc. Royal Soc.*, 69 (1901), 277.
 11. MAC LENNAN et BURTON. *Phil. Mag.*, sept. 1903, 344.
 12. P. AUGER. *Journ. de Phys.* [7], 6, 226.
 13. MESSERSCHMIDT. *Phys. Zeitsch.*, 34 (1933), 896.
 14. P. AUGER et ROSENBERG. *Journ. de Phys.* [7], 6, 229.
 15. REGENER. *Phys. Zeitschr.*, 34 (1933), 306.
 16. G. DECHÈNE. *Thèse*, Paris, 1934.
 17. COLSON. *C. R* , 123 (1896), 49.
 18. RUSSELL. *Proc. Roy. Soc.*, 61 (1897), 424.
 19. RUSSELL. *Proc. Roy. Soc.*, 62 (1898), 102.
 20. TIAN. *Thèse*, Paris, 1915, 96.
-

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Mécanisme de la différenciation des sons
par l'oreille interne.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 15 Octobre 1938.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

CH. MAURAIN.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

G. ROUSSY.

LAVAL. — IMPRIMERIE BARNÉOUD.



